제 출 문

신대구부산고속도로 주식회사 귀중

귀 사와 2015년 8월 5일자로 계약을 체결한 “2015년 하반기 시설물 안전점검 용역(2구간 정밀안전진단)” 을 성실히 수행하고 무척산터널(대구, 부산)의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2015년 12월

㈜ 동 우 기 술 단

고 중 호 (인)

무척산터널(대구) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2015년 하반기 시설물 안전점검 용역(2구간 정밀안전진단)	진단기간	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31		
관리주체명	신대구부산고속도로(주)	대 표 자	정 상 호		
공동수급	독자수행	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	터 널	종 류	도로터널	종 별	1종
준 공 일	2006년 02월 10일	진단금액 (천원)	39,161	안전등급	B
시설물 위치	경상남도 밀양시 상동면 고정리 (부산기점 24.600~26.670km)	시설물 규모	L=2,042m B=10.6m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 없음
진 단 주요결과	■ 철근구간 라이닝 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 박락, 들뜸 발생 ■ 무근구간 라이닝 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 망상균열, 들뜸, 박락 발생 ■ 공동구 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 공동구 덮개 파손 발생 ■ 집수구 토사퇴적 발생 ■ 포장부 스켈링, 스폴링, 균열, 망상균열 발생 ■ 피난연결통로 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 철근노출 발생
주 요 보수·보강	■ 라이닝 : 표면처리, 주입보수, 단면보수, 방청 후 단면보수 ■ 공동구 : 표면처리, 단면보수, 방청 후 단면보수 ■ 배수시설 : 청소 ■ 포장 : 주입보수

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
사업책임	방 기 섭	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
분야별책임 (현장조사 및 측정)	권 태 완	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
분야별책임 (분석 및 평가)	김 상 현	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	고급기술자
참여기술자 (현장조사 및 측정)	이홍재외 7명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
참여기술자 (현장조사결과 분석)	정재희외 6명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
참여기술자 (안전성 평가)	장석진외 6명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자

라. 참고사항

무척산터널(대구) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
■ 외관조사결과, 구조적인 결함 및 손상이 없는 양호한 상태이며, NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 조사되었으므로, 내구성 확보를 위해 균열에 대해 적절한 보수가 필요함, ■ 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등은 손상부 콘크리트의 낙하시 통행 차량에 사고를 유발할 수 있는 위험요소이므로 제거가 필요하며, 단면보수시에는 재손상이 발생되지 않도록 정밀시공이 필요함. ■ 본 터널의 상태평가 및 안전성 평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단됨. 책임기술자 : 방 기 섭 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
본선터널	철근구간	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸, 박락	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	무근구간	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하), 망상균열 - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸, 박락	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	공동구	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 공동구 덮개 파손	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	배수시설	b	- 집수구 토사퇴적	- 정비
부대시설	피난연결통로	a	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 철근노출	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰

나. 안전성평가 결과

구 분			안전율	안전성 여부 또는 평가등급	비 고
NATM 구간	지보재	숏크리트	1.569	a	
		록볼트	2.442	a	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
-	미적용	-	-

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명	시험부위		시험 결과	비 고
비파괴 강도 (㎫)	라이닝	반발경도	26.2~29.1	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	25.2~29.6	
철근탐사 (㎜)	라이닝	배근간격	120~161	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	48~108	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		42.5~76.7	■ 잔여깊이가 30㎜이상 'a등급' 으로 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	라이닝		0.178~0.312	■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성이 낮은 상태인 'a~b' 로 평가됨.
균열 깊이	라이닝		57.9~95.8	■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨.

무척산터널(부산) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2015년 하반기 시설물 안전점검 용역(2구간 정밀안전진단)	진단기간	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31		
관리주체명	신대구부산고속도로(주)	대 표 자	정 상 호		
공동수급	독자수행	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	터 널	종 류	도로터널	종 별	1종
준 공 일	2006년 02월 10일	진단금액 (천원)	39,449	안전등급	B
시설물 위치	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 (부산기점 24.600~26.670km)	시설물 규모	L=2,065m B=10.60m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 없음
진 단 주요결과	■ 철근구간 라이닝 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 재료분리, 철근노출 발생 ■ 무근구간 라이닝 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 보수부 들뜸 발생 ■ 공동구 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 철근노출 공동구 덮개파손 발생 ■ 집수구 토사퇴적 발생 ■ 포장부 스켈링, 스폴링, 균열 발생 ■ 피난연결통로 : 폭 0.3㎜이상 균열 발생
주 요 보수·보강	■ 라이닝 : 표면처리, 주입보수, 단면보수, 방청 후 단면보수 ■ 공동구 : 표면처리, 주입보수, 단면보수, 덮개 재설치 ■ 배수시설 : 청소 ■ 포장 : 주입보수

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
사업책임	방 기 섭	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
분야별책임 (현장조사 및 측정)	권 태 완	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
분야별책임 (분석 및 평가)	김 상 현	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	고급기술자
참여기술자 (현장조사 및 측정)	이홍재외 7명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
참여기술자 (현장조사결과 분석)	정재희외 6명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자
참여기술자 (안전성 평가)	장석진외 6명	2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31	특급기술자

라. 참고사항

무척산터널(부산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
■ 외관조사결과, 구조적인 결함 및 손상이 없는 양호한 상태이며, NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 조사되었으므로, 내구성 확보를 위해 균열에 대해 적절한 보수가 필요함. ■ 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등은 손상부 콘크리트의 낙하시 통행 차량에 사고를 유발할 수 있는 위험요소이므로 제거가 필요하며, 단면보수시에는 재손상이 발생되지 않도록 정밀시공이 필요함. ■ 본 터널의 상태평가 및 안전성 평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단됨. 책임기술자 : 방 기 섭 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
본선터널	철근구간	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸, 박락, 재료분리 - 철근노출	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	무근구간	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸, 박락, 보수부 들뜸, 파손	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	공동구	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸/박락 - 철근노출	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	배수시설	b	- 집수구 토사퇴적	- 정비
부대시설	피난연결통로	a	- 균열(Cw:0.3㎜이상)	- 지속관찰

나. 안전성평가 결과

구 분			안전율	안전성 여부 또는 평가등급	비 고
NATM 구간	지보재	숏크리트	1.569	a	
		록볼트	2.442	a	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
-	미적용	-	-

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명	시험부위		시험 결과	비 고
비파괴 강도 (㎫)	라이닝	반발경도	24.4~28.5	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	25.2~28.9	
철근탐사 (㎜)	라이닝	배근간격	112~153	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	47~79	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		42.1~73.9	■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	라이닝		0.271~0.450	■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성이 낮은 상태인 ‘a~b’로 평가됨.
균열 깊이	라이닝		78.4~107.4	■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨.

무척산터널 현황표

※ 작성일 : 2015년 12월 31일

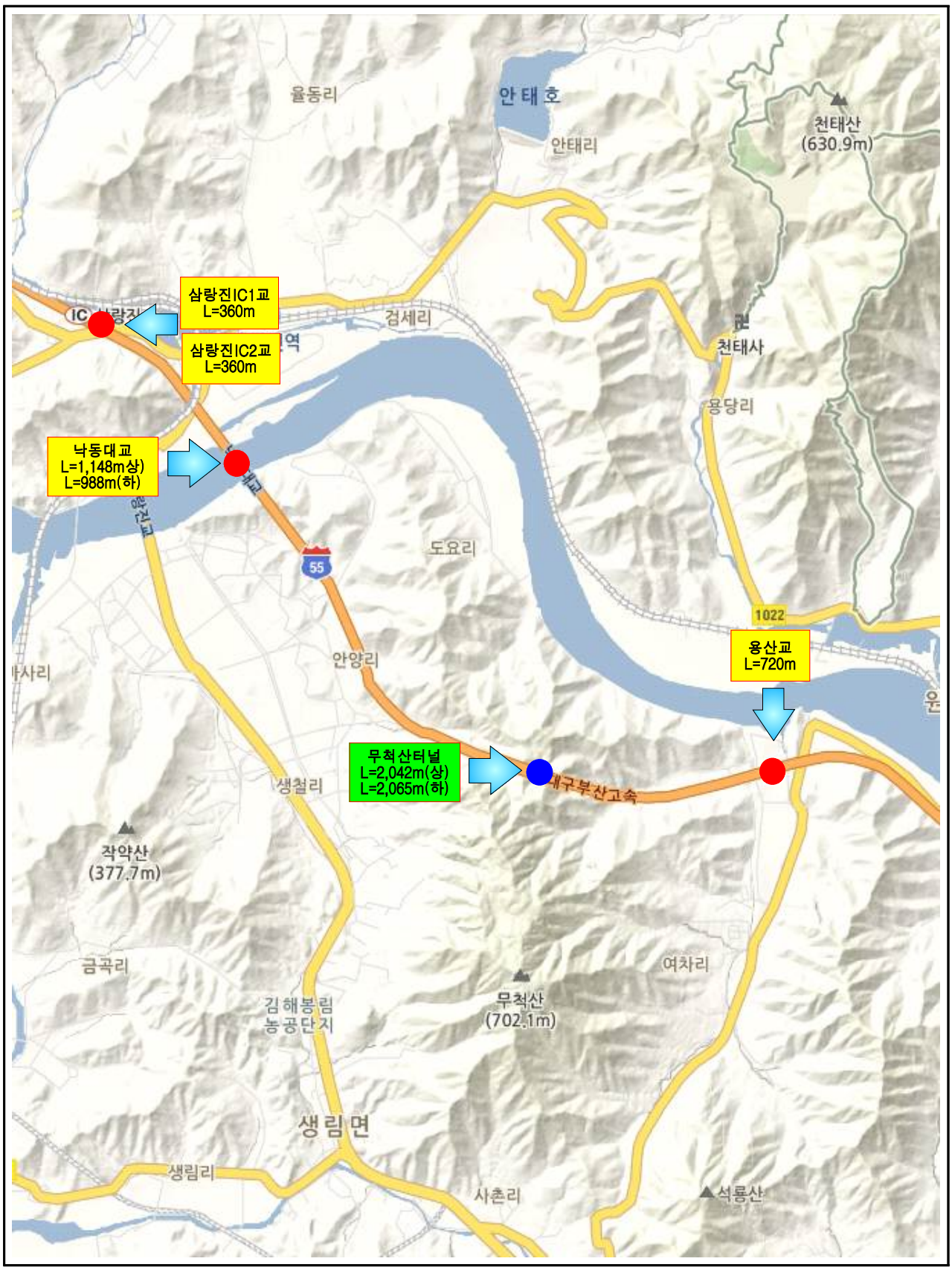
구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000204 부산방향 : TU2006-0000205	관리번호	dbw T.4
노 선 명	고속국도55호선	시 행 자	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 김해시 상동면 여차리 [부산기점 24.60km]	종 점	경상남도 김해시 생림면 안양리 [부산기점 26.67km]
터널형식	NATM	관리주체	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	환기방식	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 2,042m 부산방향 : 2,065m	설 계 사	동명기술공단
내공단면	폭 : 10.6m, 높이 : 7.6m	시 공 사	대우건설(주)
배수형식	THP관 ∅400, 유공관 ∅200	감 리 사	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	상행선 : +0.4280% 하행선 : +0.4200%	착 공	2001년 10월 17일
평균선형	곡선	준 공	2006년 2월 10일
연결통로	횡갱 2개소	갱문형식	Bell Mouth, 면벽식
주요공법	숏크리트, 락볼트	보조공법	Fore poling, Pipe Roof Fre-Grouting

정밀안전진단 참여기술진

※ 과업기간 : 2015년 8월 11일 ~ 2015년 12월 31일 (143일간)

참여구분	참여분야	직 위	성 명	서 명
책임기술자	사업책임기술자	이 사	방 기 섭	
분야별 참여기술자	현장조사 및 측정	부 장	권 태 완	
	분석 및 평가	차 장	김 상 현	
참여기술자	현장조사 및 측정	부회장	이 홍 재	
		상 무	홍 왕 선	
		부 장	이 강 호	
		차 장	엄 규 식	
		차 장	유 재 웅	
		대 리	호 근	
		대 리	강 덕 운	
		대 리	김 용 수	
	현장조사 분석 및 평가	상 무	정 재 희	
		이 사	문 원 덕	
		과 장	윤자비나	
		대 리	전 민 철	
		대 리	이 재 윤	
		대 리	마 권 동	
		주 임	정 문 용	
	안전선 평가 및 보고서 작성	회 장	장 석 진	
		과 장	백 운 빈	
		과 장	안 휘 순	
		대 리	방 준 영	
		대 리	김 두 겸	
		주 임	최 지 선	최지선
		주 임	박 민 지	

시설물 위치도(1)


율동리
안 태 호
안태리
천태산
(630.9m)
삼랑진IC1교
L=360m
삼랑진IC2교
L=360m
검세리
천태사
용당리
낙동대교
L=1,148m(상)
L=988m(하)
도요리
55
1022
용산교
L=720m
안양리
무척산터널
L=2,042m(상)
L=2,065m(하)
생철리
작약산
(377.7m)
금곡리
여차리
김해봉림
농공단지
무척산
(702.1m)
생림면
생림리
사촌리
석룡산

시설물 위치도(2)


삼랑진역
송지리
검세리
천태사
용당리
도요리
55
1022
안양리
청도 방향
상동 방향
생철리
작약산
(377.7m)
<무척산터널>
– NATM
– (상) : 2,042m
– (하) : 2,065m
금곡리
여차리
김해봉림
농공단지
(702.1m)
생림면
생림리
사촌리
석룡산

시설물의 전경사진(1)



시점측 입구부 전경



종점측 입구부 전경

시설물의 전경사진(2)



터널 내부 전경



피난연락갱 전경

시설물의 전경사진(3)



사면 전경



사면 배수로 전경

시설물의 전경사진(4)



소화전 전경



조명시설 전경

정밀안전진단 결과 요약문

1. 과업의 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”(이하 ” 시특법 “이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 상태평가

4) 안전성 평가

5) 종합평가 및 안전등급 지정

6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시

7) 보고서 작성

8) 터널 하자보고서 작성

9) 선택과업 : 구조해석, GPR탐사 등

1.3 과업기간

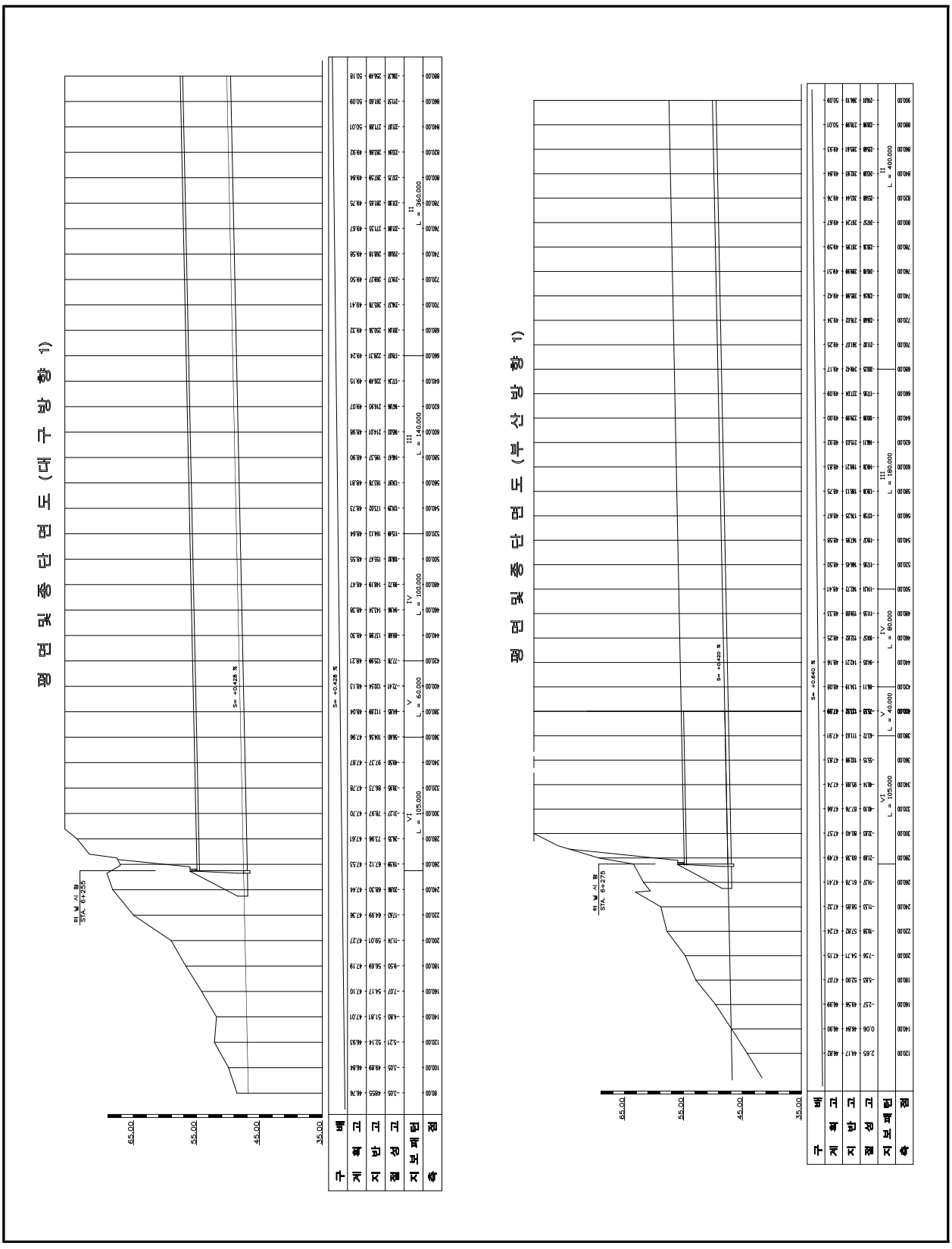
2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31 (착수일로부터 143일간)

1.4 시설물의 개요

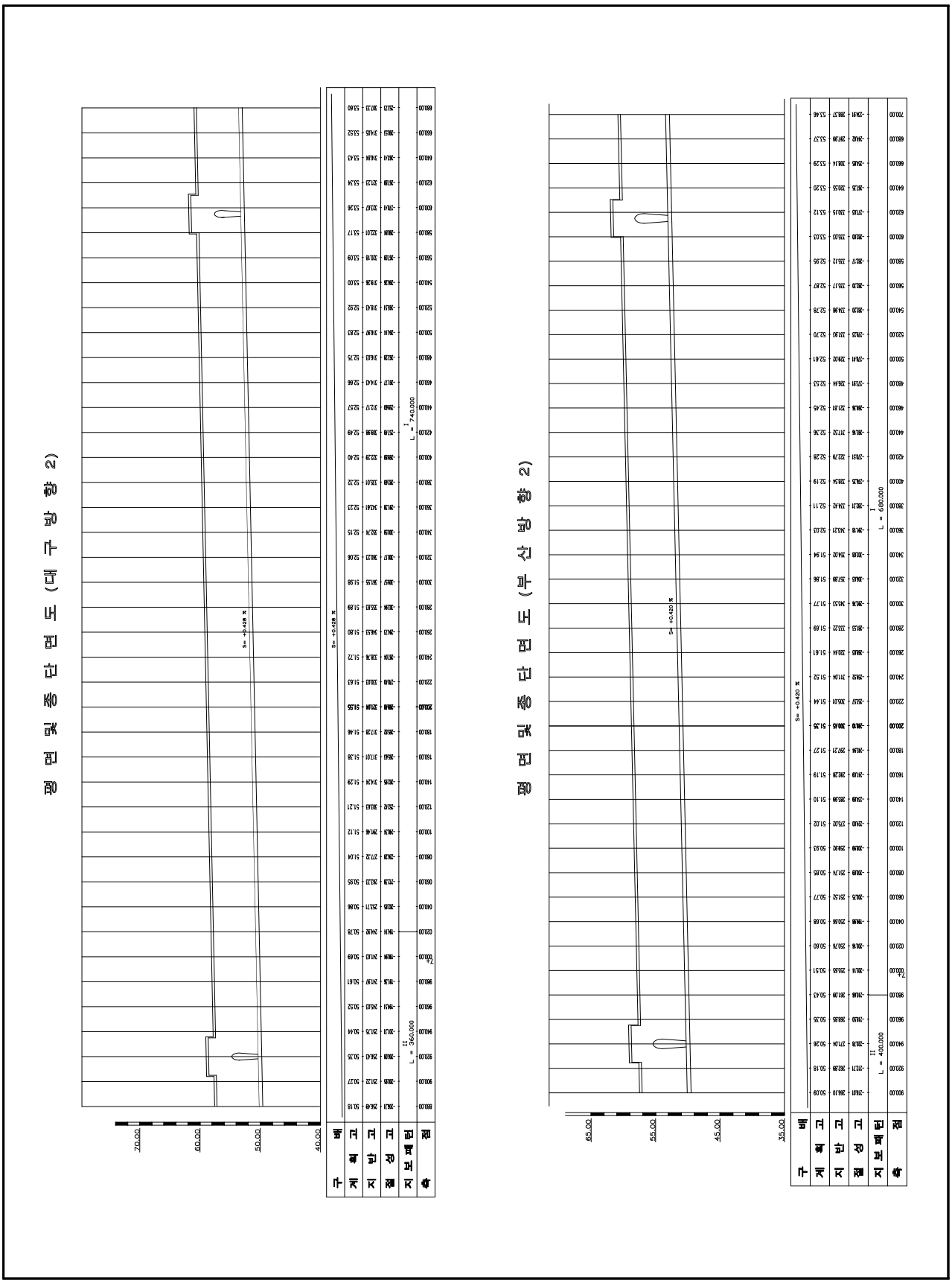
1) 시설물의 현황

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000204 부산방향 : TU2006-0000205	**관리번호**	dbw T.4
노 선 명	고속국도55호선	**시 행 자**	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 김해시 상동면 여차리 [부산기점 24.60km]	**종 점**	경상남도 김해시 생림면 안양리 [부산기점 26.67km]
터널형식	NATM	**관리주체**	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	**환기방식**	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 2,042m 부산방향 : 2,065m	**설 계 사**	동명기술동단
내공단면	폭 : 10.6m, 높이 : 7.6m	**시 공 사**	대우건설(주)
배수형식	THP관 ∅400, 유공관 ∅200	**감 리 사**	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	상행선 : -0.4280% 하행선 : +0.4200%	**착 공**	2001년 10월 17일
평균선형	곡선	**준 공**	2006년 2월 10일
연결통로	-	**갱문형식**	Bell Mouth, 면벽식
주요공법	숏크리트, 락볼트	**보조공법**	Fore poling, Pipe Roof Fre-Grouting

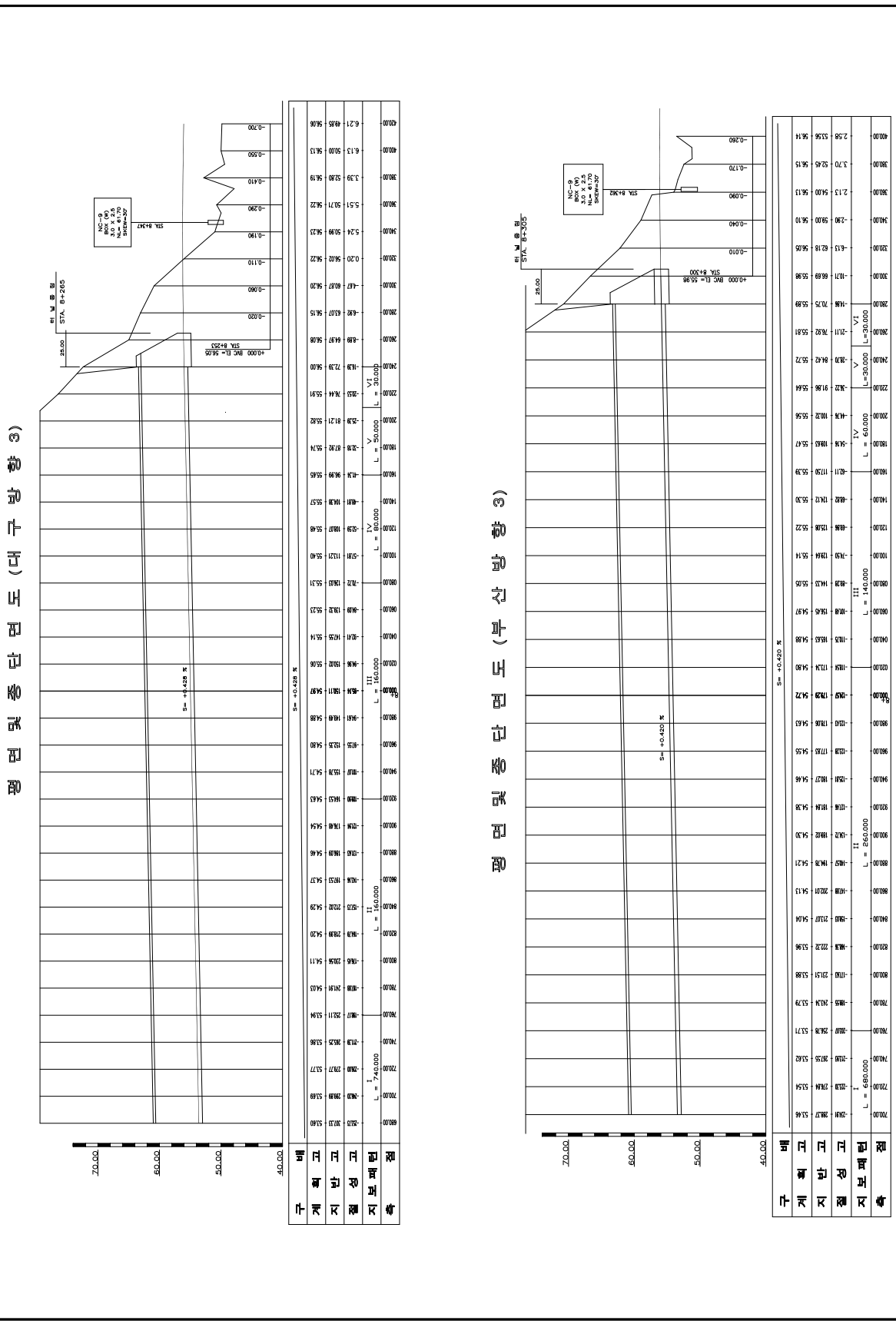
2) 시설물 주요 도면



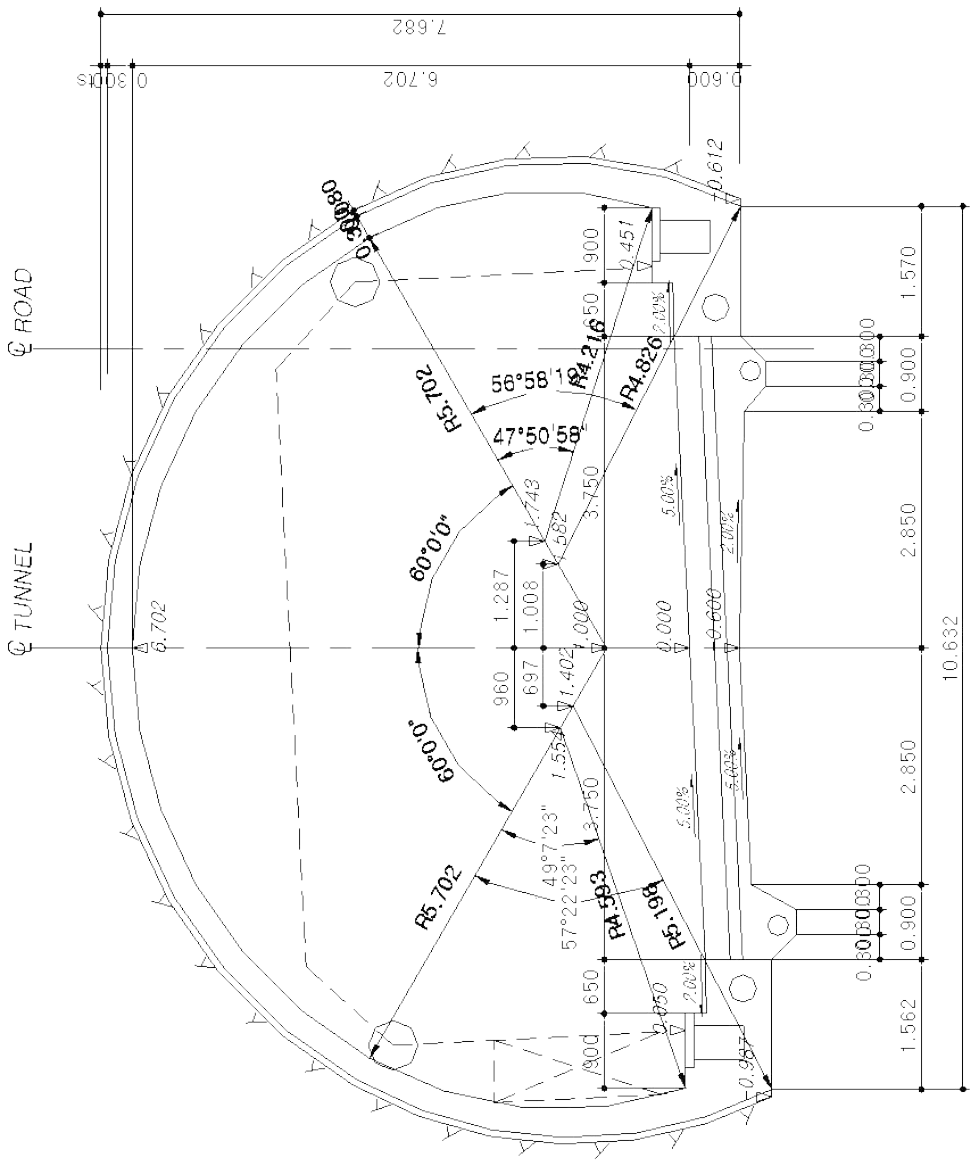
【 무척산터널(대구, 부산) 종 · 평면도(1) 】



【 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(2) 】



【 무척산터널(대구, 부산) 종・평면도(3) 】


7,682
6,702
0,600
0,300ts
0,612
0,080
0,451
1900
650
R4,216
R4,826
R5,702
56°58'12"
47°50'58"
60°0'0"
60°0'0"
R5,702
49°7'23"
57°22'23"
R4,593
R5,1969
3,750
1,743
1,582
1,287
1,008
1,000
960
697
1,402
1,553
0,000
0,000
5,00%
2,00%
5,00%
5,40%
2,00%
2,050
0,937
1,570
0,900
2,850
2,850
0,900
1,562
10,632
6,702
℄ ROAD
℄ TUNNEL

【 무척산터널 표준단면도 】

2. 자료수집 및 분석

2.1 보수·보강 이력

가. 대구방향

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
보수	'10.04	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 타일보수, 표면처리	-
보수	'10.06	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 단면보수, 표면처리	-
보수	'11.07	-	대우건설(주)	옥외공동구 균열보수(수지주입), 누수부 정비)	-
보수	'12.06	-	대우건설(주)	측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수, 포장부 포장보수	-
보수	'13.06	-	대우건설(주)	천정부 균열, 들뜸, 백태보수	-
보수	'14.06	-	대우건설(주)	측벽부 화재구간 보수, 부대시설 제트팬 정비	-

나. 부산방향

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
보수	'10.04	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 타일보수, 표면처리	-
보수	'10.06	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 단면보수, 표면처리	-
보수	'11.07	-	대우건설(주)	옥외공동구 균열보수(수지주입), 누수부 정비	-
보수	'12.06	-	대우건설(주)	측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수, 포장부 포장보수	-
보수	'13.06	-	대우건설(주)	천정부 균열, 들뜸, 백태보수	-
보수	'14.06	-	대우건설(주)	부대시설 제트팬 정비	-

2.2 자료수집 및 분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 준공도면 및 구조계산서 : 대구-부산간 고속도로 민간투자사업 준공도서 - 실시설계 종합보고서 - 토질 및 지반보고서 - 준공내역서, 수량산출서 - 구조 및 수리계산서 - 토질조사보고서 - 설계도면	◇ 각 준공도서를 참조한 결과, 주요 설계변경 내용 및 시공 시 문제점이 없는 것으로 확인됨	◇ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 복원도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일 할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함
유 지 관 리 자 료	◇ 정밀점검 보고서 (2013.12) ◇ 정기점검 보고서 (2015.06)	◇ 포장면 스켈링, 스폴링 ◇ 라이닝 균열 보수부 재균열 ◇ 제트팬 주변 균열 ◇ 사면부 표층유실, 세굴, 뜬돌, 배수로 균열 등 ◇ 내구성 조사결과, 설계기준 이상으로 양호한 상태임	◇ 전회 점검결과와 금회 진단결과를 비교·검토하여 추가 손상 및 진전 여부를 확인하여 대책방안 마련 ◇ 전회 점검결과와 비교·검토하여 내구성 저하 여부 확인 ◇ 구조물의 제원변경확인 및 추가손상 발생에 대한 상세구조해석을 실시하여 안정성 확보 여부 확인
	◇ 보수·보강 이력 - 시설물 관리대장 - 시설물정보관리종합시스템 보수 및 점검이력	◇ 측벽부 화재구간 보수 ◇ 부대시설 제트팬 정비	◇ 보수부 상태 확인

3. 현장조사 및 시험

3.1 대구방향

가. 외관조사 결과요약

1) 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비 고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	382.7m/156개소	표면처리	피난연결 통로포함
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	511.0m/192개소	주입보수	피난연결 통로포함
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	126.8m/19개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	299.5m/41개소	주입보수	
		망상균열	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	10.50㎡/2개소	주입보수	
		철근노출(피복두께 부족)		정밀시공 미흡	10.00㎡/1개소	방청+단면보수	피난연결 통로포함
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	4.15㎡/85개소	제거 및 단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	2.9m/9개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	58.6m/168개소	주입보수	
		박락		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.41㎡/11개소	단면보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	480개소	주의관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	2.1m/6개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	7.2m/20개소	주입보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	8개소	재설치	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	30개소	주의관찰	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	9.15㎡/47개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	59.78㎡/33개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	13.96㎡/224개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	24.3m/13개소	주입보수	
			균열(보수미흡)	온도 및 건조수축	3.5m/1개소	주의관찰	
			망상균열	온도 및 건조수축	4.00㎡/1개소	주의관찰	
		길어깨부	스폴링	온도변화에 의한 신축거동	0.16㎡/2개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	0.6m/2개소	주입보수	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	10.0m/4개소	주입보수	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	118.1m/21개소	표면처리	
		균열/백태		온도 및 건조수축	1.6m/3개소	주입보수	
		망상균열		온도 및 건조수축	7.62㎡/2개소	표면처리	
		몰탈 망상균열/들뜸		온도 및 건조수축	5.89㎡/1개소	표면처리	
		Joint부 누수		시공미흡	2.0m/1개소	실링보수	
		누수/백태		개구부 우수유입	1.71㎡/23개소	표면처리	
		우수유입흔적		개구부 우수유입	4.00㎡/4개소	표면처리	

2) 기 정밀점검(2013년) 결과 비교

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	96.0m/45개소	382.7m/156개소	△	
			0.3㎜이상	139.2m/55개소	511.0m/192개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	130.0m/18개소	126.8m/19개소	-	
			0.3㎜이상	258.0m/32개소	299.5m/41개소	△	
		망상균열	0.3㎜이상	-	10.50㎡/2개소	△	
		철근노출(피복두께 부족)		-	10.00㎡/1개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	3.42㎡/58개소	4.15㎡/85개소	△	
		표면오염		-	60.00㎡/1개소	△	
		제트팬 녹발생		11개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		7.5m/8개소	2.9m/9개소	▽	
		균열(0.3㎜이상)		28.2m/17개소	58.6m/168개소	△	
		박락		-	0.41㎡/11개소	△	
		타일균열/파손		57개소	480개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	2.1m/6개소	△	
			0.3㎜이상	23.5m/56개소	7.2m/20개소	▽	
		공동구 덮개 파손		7개소	8개소	-	
		타일균열/파손		1개소	30개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	9.15㎡/47개소	△	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	1.21㎡/26개소	59.78㎡/33개소	△	
			스폴링	3.86㎡/54개소	14.12㎡/226개소	△	
			균열	16.5m/5개소	24.9m/15개소	△	
			균열(보수미흡)	-	3.5m/1개소	△	
			망상균열	-	4.00㎡/1개소	△	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	10.0m/4개소	△	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	115.0m/21개소	118.1m/21개소	-	
		균열/백태		0.2m/1개소	1.6m/3개소	△	
		망상균열		6.00㎡/개소	7.62㎡/2개소	△	
		몰탈 망상균열/들뜸		-	5.89㎡/1개소	△	
		Joint부 누수		2.0m/1개소	2.0m/1개소	-	
		누수/백태		0.59㎡/9개소	1.71㎡/23개소	△	
		우수유입흔적		4개소	4.00㎡/4개소	-	

나. 내구성조사 결과요약

1) 금회('15년) 진단 현장시험 결과 요약

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="5">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(㎫)</td><td>부재</td><td>시험종류</td><td>추정강도(A)</td><td colspan="2">설계기준강도(B)</td><td>A/B×100(%)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td>반발경도법</td><td>26.2～29.1</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>109～121</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>25.2～29.6</td><td>105～123</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">부재</td><td rowspan="2">철근종류</td><td colspan="2">측정치</td><td colspan="2">설계치</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td rowspan="2">천단, 어깨부</td><td>횡방향철근</td><td>120～161</td><td>48～108</td><td>125, 150</td><td>39</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>130～210</td><td>59～100</td><td>150, 200</td><td>66</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계치과 근사함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>탄산화깊이</td><td>피복두께</td><td>잔여깊이</td><td>평가</td><td>잔존수명</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>3.3～6.9</td><td>48～82</td><td>42.5～76.7</td><td>a</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">염화물
함유량</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">Cl^-(%)</td><td colspan="2">Cl^-(kg/㎥)</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.0079～0.0138</td><td colspan="2">0178～0.312</td><td>a~b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a～b”로 평가됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균열
깊이</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.3～0.4</td><td colspan="2">57.9～95.8</td><td>39～55</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단면
측량</td><td colspan="2">종단측량</td><td colspan="6">■ 종단선형 비교 결과, 실측치 종단경사가 S=0.436%로 설계치와 0.008%의 오차가 발생하였으나 전반적으로 설계치와 유사한 종단경사를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 설계치와 실측치의 오차(0.008%)는 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공 및 측정오차에 의해 발생된 것으로 판단됨</td><td>중앙차선(2차로)을 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">내공변위 측량</td><td colspan="6">■ 내공변위 측량 결과, 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단됨</td><td></td></tr>
</table>

시험명	시 험 결 과	비 고
GPR 탐사	■ 콘크리트 라이닝 두께는 탐사대비연장율 99.72%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 140㎜~650㎜, 어깨부 종측선에서 130㎜~610㎜, 횡측선에서 200㎜~490㎜로 나타났으며 천단부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨 ■ 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 천단부 종측선 S28, S41, S42, S46, S92, S94, S126, S127, S173, S186, 어깨부 종측선 S35, S92, S211, S215에서 나타났으며 연장율은 0.28%로 조사됨 ■ 이상반사파 탐사결과 S143, S200구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~80㎜ 두께, 5.5m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.13%로 조사되었다. ■ 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.72%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단됨	

2) 기 점검('13년)결과 비교

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="3">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">비파괴 강도 (㎫)</td><td>시험종류</td><td>부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>설계기준강도</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>반발경도법</td><td>라이닝</td><td>24.2～28.7</td><td>26.2～29.1</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="4">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">라이닝</td><td>2.0～7.0</td><td>3.3～6.9</td><td>a</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="4">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

3.2 부산방향

가. 외관조사 결과요약

1) 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비 고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	329.4m/191개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	298.4m/109개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	36.0m/5개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	213.5m/27개소	주입보수	
		망상균열	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	35.55㎡/4개소	주입보수	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	5.38㎡/94개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	0.17㎡/2개소	단면보수	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	3.2m/9개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	58.6m/157개소	주입보수	
		철근노출		철근피복두께 부족	0.18㎡/4개소	방청+단면보수	
		들뜸/박락		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.11㎡/4개소	단면보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	460개소	주의관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	14.6m/34개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	50.2m/103개소	주입보수	
		파손		외부충격 등	0.40㎡/1개소	단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	28개소	재설치	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	165개소	주의관찰	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	16.80㎡/84개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	2.83㎡/29개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	8.93㎡/148개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	12.9m/6개소	주입보수	
		길어깨부	스폴링	온도변화에 의한 신축거동	0.71㎡/20개소	주의관찰	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	5.0m/2개소	주입보수	

2) 기 정밀점검(2013년) 결과와의 비교

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	62.2m/43개소	329.4m/191개소	△	
			0.3㎜이상	134.0m/41개소	298.4m/109개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	37.0m/5개소	36.0m/5개소	-	
			0.3㎜이상	182.0m/21개소	213.5m/27개소	△	
		망상균열	0.3㎜이상	9.75㎡/2개소	35.55㎡/4개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	3.14㎡/56개소	5.38㎡/94개소	△	
			재료분리	-	0.17㎡/2개소	△	
		제트팬 녹발생		11개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		19.8m/16개소	3.2m/9개소	▽	
		균열(0.3㎜이상)		30.5m/15개소	58.6m/157개소	△	
		철근노출		-	0.18㎡/4개소	△	
		들뜸/박락		-	0.11㎡/4개소	△	
		타일균열/파손		149개소	460개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	14.6m/34개소	△	
			0.3㎜이상	28.9m/61개소	50.2m/103개소	△	
		파손		0.30㎡/1개소	0.40㎡/1개소	-	
		공동구 덮개 파손		26개소	28개소	△	
		타일균열/파손		5개소	165개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	16.80㎡/84개소	△	
	도로부 (포장면)	스캘링		0.04㎡/3개소	2.83㎡/29개소	△	
		스폴링		4.78㎡/57개소	9.64㎡/168개소	△	
		균열		6.5m/4개소	12.9m/6개소	△	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	5.0m/2개소	△	

나. 내구성조사 결과요약

1) 금회('15년) 진단 현장시험 결과 요약

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="5">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(㎫)</td><td>부재</td><td>시험종류</td><td>추정강도(A)</td><td colspan="2">설계기준강도(B)</td><td>A/B×100(%)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td>반발경도법</td><td>24.4～28.5</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>102～119</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>25.2～28.9</td><td>105～120</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">부재</td><td rowspan="2">철근종류</td><td colspan="2">측정치</td><td colspan="2">설계치</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td rowspan="2">천단, 어깨부</td><td>횡방향철근</td><td>112～153</td><td>47～79</td><td>125, 150</td><td>39</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>149～201</td><td>65～110</td><td>150, 200</td><td>66</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계치과 근사함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>탄산화깊이</td><td>피복두께</td><td>잔여깊이</td><td>평가</td><td>잔존수명</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>3.1～7.2</td><td>47～79</td><td>42.1～73.9</td><td>a</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a” 로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">염화물
함유량</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">Cl^-(%)</td><td colspan="2">Cl^-(kg/㎥)</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.0120～0.0199</td><td colspan="2">0.271～0.450</td><td>a~b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a～b” 로 평가됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균열
깊이</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.3～0.5</td><td colspan="2">78.4～107.4</td><td>58～79</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단면
측량</td><td colspan="2">종단측량</td><td colspan="6">■ 종단선형 비교 결과, 실측치 종단경사가 S=0.430%로 설계치와 0.010%의 오차가 발생하였으나 전반적으로 설계치와 유사한 종단경사를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 설계치와 실측치의 오차(0.010%)는 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공 및 측정오차에 의해 발생된 것으로 판단됨</td><td>중앙차선(2차로)을 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">내공변위 측량</td><td colspan="6">■ 내공변위 측량 결과 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단됨</td><td></td></tr>
</table>

시험명	시 험 결 과	비 고
GPR 탐사	■ 콘크리트 라이닝 두께는 탐사대비연장율 99.86%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 60㎜~700㎜, 어깨부 종측선에서 180㎜~660㎜, 횡측선에서 200㎜~470㎜로 나타났으며 천단부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨 ■ 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 S144, S147, S177, S193에서 나타났으며 연장율은 0.14%로 조사됨 ■ 이상반사파 탐사결과 S51, S104, S128구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~90㎜ 두께, 10m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.24%로 조사됨 ■ 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.86%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단됨	

2) 기 점검('13년)결과 비교

시험명	시 험 위 치		시 험 결 과			비 고
비파괴 강도 (㎫)	시험종류	부재	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도	
	반발경도법	라이닝	24.9~29.8	24.4~28.5	24.0	
	검토의견		■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨. ■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.			
탄산화 잔여깊이 (㎜)	부재		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	평가	
	라이닝		3.0~7.0	3.1~7.2	a	
	검토의견		■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 "a"로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨. ■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.			

4. 시설물의 상태평가

4.1 대구방향

가. 상태평가 결과

1) 기본시설물 상태평가 결과

라이닝	본선 라이닝 상태										터널주변 상태					결함 점수 합계	결함 지수
	균열	누수	파손 손상	박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건		
철근 콘크리트	6.22	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.93	0.184
무근 콘크리트	5.75	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.55	0.222

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
무척산터널 (대구)	NATM	철근	299.0	0.147	b	0.184	0.027
		무근	1,741.0	0.853	b	0.222	0.189
합계				1.000	-	0.406	0.216

결함지수	0.216
기본시설물 상태평가결과	B

2) 부대시설물 상태평가 결과

라이닝	균열	누수	파손 손상	재질열화							결함 점수 합계	결함 지수
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
철근 콘크리트	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	-	-	1.167	0.032

결함지수	0.032
부대시설 상태평가 결과	A

3) 전체시설물 상태평가 결과

시설물명	구조 형식	기본시설물		부대시설 가중치 (W)	전체시설물 상태평가 (F×W)
		상태평가결과	결함지수(F)		
무척산터널 (대구)	NATM	B	0.216	1.00	0.216

결함지수	0.216
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = 0.216 (기본시설물 결함지수(F)) × 1.00 (부대시설 가중치(W)) = 0.216 ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.216) < 0.300

나. 기 점검('13년) 결과와의 비교, 분석

- 최종 상태평가 결과, 상태기준은 "B"로 평가되었으며, '13년 정밀점검 이후 구조적 영향을 미칠만한 손상에 진전은 없는 것으로 조사되었다.
- 기 조사된 손상중 일부분 보수가 실시되었으나, 기 점검시 미보수된 손상과 보수부 재손상이 발생하였고 공용중 손상 증가와 금회 진단시 점검장비를 이용한 근접조사에 따른 추가 손상이 조사됨에 따라 결함지수가 0.130 ⇨ 0.216으로 증가한 것으로 분석되었다.

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	a	0.130	b	0.184	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.100	b	0.222	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.032	
전체시설물 (연장비 적용)		A	0.130	B	0.216	

4.2 부산방향

가. 상태평가 결과

1) 기본시설물 상태평가 결과

라이닝	본선 라이닝 상태										터널주변 상태					결함 점수 합계	결함 지수
	균열	누수	파손 손상	박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건		
철근 콘크리트	4.89	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	6.92	0.161
무근 콘크리트	4.96	0.00	0.01	0.00	0.32	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	6.79	0.200

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
무척산터널 (부산)	NATM	철근	304	0.148	b	0.161	0.024
		무근	1,751	0.852	b	0.200	0.170
합계				1.000	-	0.361	0.194

결함지수	0.194
기본시설물 상태평가결과	B

2) 부대시설물 상태평가 결과

라이닝	균열	누수	파손 손상	재질열화							결함 점수 합계	결함 지수
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
철근 콘크리트	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.000	0.000

결함지수	0.000
부대시설 상태평가 결과	A

3) 전체시설물 상태평가 결과

시설물명	구조 형식	기본시설물		부대시설 가중치 (W)	전체시설물 상태평가 (F×W)
		상태평가결과	결함지수(F)		
무척산터널 (부산)	NATM	B	0.194	1.00	0.194

결함지수	0.194
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.194}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.194$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.194) < 0.300

나. 기 점검('13년) 결과와의 비교, 분석

- 최종 상태평가 결과, 상태기준은 "B" 로 평가되었으며, '13년 정밀점검 이후 구조적 영향을 미칠만한 손상에 진전은 없는 것으로 조사되었다.
- 기 조사된 손상중 일부분 보수가 실시되었으나, 기 점검시 미보수된 손상과 보수부 재손상이 발생하였고 공용중 손상 증가와 금회 진단시 점검장비를 이용한 근접조사에 따른 추가 손상이 조사됨에 따라 결함지수가 0.110 ⇨ 0.194으로 증가한 것으로 분석되었다.

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	a	0.090	b	0.161	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.060	b	0.200	
부대 시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		A	0.110	B	0.194	

5. 안전성평가

5.1 시점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.496	-1.560	-1.670
최대 수평변위(㎜)	0.705	1.370	2.216
숏크리트 압축응력(MPa)	3.319<8.400 ∴O.K	3.254<8.400 ∴O.K	4.764<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	25.50<88.70 ∴O.K	23.22<88.70 ∴O.K	26.52<88.70 ∴O.K

• 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

5.2 종점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-2.344	-2.110	-2.274
최대 수평변위(㎜)	0.806	1.469	2.240
숏크리트 압축응력(MPa)	4.632<8.400 ∴O.K	4.555<8.400 ∴O.K	5.354<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	36.32<88.70 ∴O.K	30.42<88.70 ∴O.K	31.83<88.70 ∴O.K

• 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

6. 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 결과

시행년도	분류	시설물명	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
금회 (2015년)	정밀안전 진단	무척산터널 (대구)	B (0.216)	A (1.569)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정
		무척산터널 (부산)	B (0.194)	A (1.569)	B	

6.2 안전등급 지정

구분	안전등급	안전등급의 의미
무척산터널 (대구, 부산)	「B등급」 양호	· 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 · 세부지침의 규정에 의해 산출된 종합평가 등급을 상향하거나 하향시킬 만한 변수가 없음을 의미함.

7. 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 보수·보강 및 개략공사비

가. 대구방향

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	382.7	95.68	㎡	49	4,688	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	511	511.00	m	130	66,430	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	126.8	31.70	㎡	49	1,553	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	299.5	299.50	m	130	38,935	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	10.5	10.50	㎡	130	1,365	-	주입보수
	철근노출	지속관찰	10	15.00	㎡	232	3,480	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸	지속관찰	4.15	6.23	㎡	215	1,338	-	제거 및 단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	2.9	0.73	㎡	49	35	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	58.6	58.60	m	130	7,618	-	주입보수
	박락	지속관찰	0.41	0.62	㎡	215	132	-	단면보수
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	2.1	0.53	㎡	49	25	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	7.2	7.20	m	130	936	-	주입보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	8	8.00	개소	100	800	-	공동구 덮개 재설치
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	9.15	13.73	㎡	80	1,098	3	-
	포장부 균열	주입보수	24.3	24.30	m	130	3,159	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	0.6	0.60	m	130	78	3	-

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	10	10.00	m	130	1,300	-	주입보수
옥외 공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	118.1	29.53	㎡	49	1,446	-	표면처리
	균열/백태	지속관찰	1.6	1.60	m	130	208	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	7.62	11.43	㎡	49	560	-	표면처리
	몰탈 망상균열/들뜸	지속관찰	5.89	8.84	㎡	49	432	-	표면처리
	Joint부 누수	지속관찰	2	2.00	m	20	40	-	Joint 실링보수
	누수/백태	지속관찰	1.71	2.57	㎡	49	125	-	표면처리
	우수유입흔적	지속관찰	4	6.00	㎡	49	294	-	표면처리

순공사비 합계(천원)		140,485
제경비(순공사비×50%)		70,243
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위	-
	2순위	-
	3순위	6,503
	지속관찰	204,225
유지보수 개략공사비 총계		210,728

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 철근노출 단면복구 → 30㎜(잡철물 제외)
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 2015년 하반기 현장조사시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

나. 부산방향

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	329.4	82.35	㎡	49	4,035	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	298.4	298.40	m	130	38,792	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	36	9.00	㎡	49	441	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	213.5	213.50	m	130	27,755	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	35.55	35.55	㎡	130	4,621	-	주입보수
	들뜸/박락	지속관찰	5.38	8.07	㎡	215	1,735	-	제거 및 단면보수
	재료분리	지속관찰	0.17	0.26	㎡	215	54	-	단면보수
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	3.2	0.80	㎡	49	39	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	58.6	58.60	m	130	7,618	-	주입보수
	철근노출	지속관찰	0.18	0.27	㎡	232	62	-	단면보수(방청)
	들뜸/박락	지속관찰	0.11	0.17	㎡	215	35	-	단면보수

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	14.6	3.65	㎡	49	178	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	50.2	50.20	m	130	6,526	-	주입보수
	파손	지속관찰	0.4	0.60	㎡	215	129	-	단면보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	28	28.00	개소	100	2,800	-	공동구 덮개 재설치
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	16.8	25.20	㎡	80	2,016	3	-
	포장부 균열	주입보수	12.9	12.90	m	130	1,677	3	-
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	5	5.00	m	130	650	-	주입보수
순공사비 합계(천원)							99,163		
제경비(순공사비×50%)							49,582		
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위					-		
		2순위					-		
		3순위					5,540		
		지속관찰					143,205		
유지보수 개략공사비 총계							148,745		

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.

※ 철근노출 단면복구 → 30㎜(잡철물 제외)

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.

※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.

※ 상기 개략공사비는 2015년 하반기 현장조사시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

7.2 부재별 중점유지관리 방안

부재구분	중 점 점 검 내 용	관련사진
라이닝	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부 - 신축이음 주변 단면손상부 탈락 여부에 대한 주의관찰	 라이닝 균열(S138, 천단부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(파손) 손상 확대 여부	 공동구 덮개 파손(S122)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스캘링(S19)

8. 종합결론

무척산터널은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리~생림면 안양리에 위치하고 있으며, 대구방향 및 부산방향의 연장은 각각 2,042m, 2,062m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.4% 이상의 경사를 이루고 있다.

본 과업은 준공 후 최초로 실시하는 정밀안전진단이며, 설계 및 시공자료와 유지관리자료를 분석한 후 과업수행계획에 따라 외관조사, 내구성 조사 및 시험 등의 현장조사를 실시하였고, 설계도서와 현장조사의 결과를 토대로 구조안전성을 평가하였으며, 정밀안전진단결과를 요약·정리하면 다음과 같다.

8.1 외관조사 결과

가. 대구방향

1) 터널 시점부 주변 조사 결과

- 터널 시점부 사면은 전반적으로 양호하나 일부 구간에 표층유실이 조사되었으나, 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.
- 갱문 출입구는 트임균열이 발생하였으나, 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하며, 갱문 주변부는 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 배면의 우수처리를 위해 배수로가 설치되어 있으며, 배수시설 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적, 균열이 조사되어 보수 계획 수립 후, 적절한 보수가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면에 녹생토 유실 흔적, 식생불량, 표층유실, 절리부 누수가 조사되었으나, 손상정도가 경미하여고 주변부의 추가 손상이 발생되지 않아 주의관찰이 바람직하며, 좌측 절토 사면부의 숏크리트 파손 손상은, 추가 손상방지를 위해 단면보수가 바람직하다.
- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 종점부 터널은 면벽식 갱문으로 갱문 배면부에 배수로가 설치되어 있고 법면상단부에

산마루 측구가 설치된 상태로 초기 이물질 퇴적, 산마루 측구 파손, 균열, 체수가 조사되었다. 체수는 초기 이물질 퇴적에 의한 손상으로 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하며, 산마루 측구 파손, 균열부는 내구성 확보를 위해 보수가 필요하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며, 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다. 다만, NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 확폭으로 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 지반 이완에 의한 구조적 손상보다는 시공시 거푸집 탈형시기, 온도 및 건조수축 등 복합적인 시공적·환경적 요인에 의해 발생된 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대·진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 균열 발생 위치 및 형태를 고려할 때, 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락의 단면 손상이 조사되어 구조물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하며 들뜸부 콘크리트는 콘크리트 낙하시 사고위험이 있어 주의 시공이 바람직하고 재손상 방지를 위해 정밀시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 파손, 공동구 벽체 타일 균열/파손 등의 손상이 조사되었다.
- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 원활한 유지관리를 위해 보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.
- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 주의관찰토록 한다.

- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행 시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.

5) 배수시설

- 배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검결과, 대부분 양호한 것으로 조사되었으나 집수구에는 이물질 퇴적이 조사되었으므로, 원활한 배수 처리를 위해 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

6) 도로부(포장면)

- 무척산터널(대구방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 균열부 보수미흡, 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 망상균열, 균열부 보수미흡 손상은 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하고, 균열은 온도 및 건조수축에 의한 손상으로 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 무척산터널(대구방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다.

8) 부속시설(옥외공동구)

- 옥외공동구는 관리동과 터널 구간의 설비시설이 통과하는 시설물로 점검결과, 균열, 균열/누수/백태, 몰탈 망상균열/들뜸, Joint 누수, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 등의 손상이 조사되었다
- 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 균열/누수/백태 손상은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하며, 몰탈 망상균열/들뜸은 보수불량에 의한 손상으로 재보수가 바람직하다.

- Joint 누수는 신축이음부 누수로 내구성 확보를 위해 실링보수가 바람직하며, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 손상은 공동구 연결을 위한 개구부를 통한 손상으로 표면처리가 바람직하다.

나. 부산방향

1) 터널 시점부 주변 조사 결과

- 터널 시점부 사면은 전반적으로 양호하나 일부 구간에 녹생토 유실, 터널 배면 사면부에 표층유실이 조사되었으나 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다. 사면의 부분적 녹생토 및 표층유실은 사면의 안정화 단계에서 일어날 수 있는 손상으로 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.
- 갱문 출입구는 양호한 상태로 조사되었고, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 배면의 우수처리를 위해 배수로가 설치되어 있으며, 균열, 이물질 퇴적 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 균열부에 대해 주입보수를 실시하고, 이물질 퇴적 손상은 원활한 배수처리를 위해 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 우측면 전면부 사면은 암반 노출로 일부 뜬돌 발생 및 낙석이 발생되었으나 높이가 낮아 도로부 측으로 영향을 미치지 않는 것으로 조사되어 낙석에 대한 지속적인 주의관찰 및 유지관리가 바람직한 것으로 조사되었다.
- 터널 종점 배면부는 도로가 위치하고 법면이 완만하게 위치하여 특이한 이상징후는 조사되지 않았으나, 배면부 지하수 유출 및 표층유실이 조사되었다. 지하수 유출은 배면부 지하수 형성에 의한 손상으로 현재 유도배수관을 설치하여 관리하고 있으며, 표층유실은 기 발생 손상으로 점검시 안정화가 이루어진 것으로 조사되어 주의관찰이 바람직한 것으로 조사되었다.
- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 갱문 배면부에 설치되어 있는 배수로는 초기 이물질 퇴적이 조사되었으나 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다. NATM 구간의 균열은 Span.No.101～112 구간에서 높게 나타났으나 확폭구간, 지반불량 구간 등 특정 위치에 균열이 집중되지 않고 임의 구간에 균열 발생 밀도가 높은 점을 고려할 때, 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 균열이 발생된 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대・진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며, 일정한 형태가 없이 불규칙하게 발생된 균열로, 건조수축 및 대단면 터널의 콘크리트 타설시 타설 흐름부에서 발생된 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- NATM구간 일부 벽체 하단부에 공동구의 정착철근이 덮개부족에 의해 노출된 것으로 조사되어 내구성 확보 및 손상확대 방지를 위해 단면보수 실시가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리, 파손 등의 단면 손상이 조사되어 구조물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하며 들뜸부 콘크리트는 콘크리트 낙하시 사고위험이 있어 주의 시공이 바람직하고 재손상 방지를 위해 정밀시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌・우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 원활한 유지관리를 위해 보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.
- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 주의관찰토록 한다.
- 파손 손상은 공동구 덮개 설치시 발생된 손상이 공용중 온도변화에 의한 신축거동 등 환경적 요인에 의해 확대 진행되어 발생된 손상으로 내구성 확보를 위해 단면보수가

바람직하다.

5) 배수시설

- 배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검결과, 대부분 양호한 것으로 조사되었으나 집수구에는 이물질 퇴적이 조사되었으므로, 원활한 배수 처리를 위해 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

6) 도로부(포장면)

- 무척산터널(부산방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 포장면 균열은 초기 발생 균열이 공용증가 및 차량 하중작용에 의해 확대·진행된 손상으로 차량하중에 의해 지속적 손상확대가 우려되므로 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 무척산터널(부산방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 피난연결통로 일부 구간에 시공미흡에 의한 바닥판 균열이 조사되어 내구성 확보를 위해 균열부 주입보수 실시가 바람직하다.

8.2 내구성 시험 및 측정 결과

- 콘크리트의 내구성 시험결과 콘크리트의 강도는 설계기준강도(라이닝 24MPa)를 상회하며, 철근배근상태는 설계치에 근사한 것으로 조사되었다.
- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이는 대부분 30.0㎜이상으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식발생의 우려가 없는 “a” 상태로 건전성을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.
- 염화물함유량 시험결과, 염화물이 함유되어 있으나 부식발생 가능성 낮은 상태인

“b” 이상으로 평가되었다.

- 철근구간에서 균열깊이 시험을 실시한 결과, 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되어, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.
- 종단 및 횡단 측량 결과, 다소의 오차가 발생하였으나, 오차범위가 경미하고 오차 발생에 따른 2차 손상이 발생되지 않아 시공 및 측정시 발생된 오차로 판단되며 대체로 설계치와 유사하게 측정되었다.

8.3 상태평가 결과

- 상태평가결과, 바닥판, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 내구성 확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B”로 평가되었다.

8.4 안전성 평가 결과

- 터널 수치해석 결과, 천단부 최대 변위는 -2.344㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 5.354MPa, 록볼트의 최대축력은 36.32kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

8.5 결 언

- 무척산터널은 약 10년의 공용기간이 경과한 구조물로 외관조사결과, 구조적인 결함 및 손상이 없는 양호한 상태이다. NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 조사되었으므로, 내구성 확보를 위해 균열에 대해 적절한 보수가 필요하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등은 손상부 콘크리트의 낙하시 통행차량에 사고를 유발할 수 있는 위험요소이므로 제거가 필요하며, 단면보수시에는 재손상이 발생되지 않도록 정밀시공이 필요하다.
- 본 터널의 상태평가 및 안전성 평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

보고서 목차

◉정밀안전진단 결과 요약문

- 제 Ⅰ 편 공통편 -

제 1장 정밀안전진단 개요 ····· Ⅰ-1

1.1 과업의 목적 ····· Ⅰ-3

1.2 과업의 범위 및 내용 ····· Ⅰ-3

1.2.1 과업의 범위 ····· Ⅰ-3

1.2.2 과업수행기간 ····· Ⅰ-3

1.2.3 과업의 내용 ····· Ⅰ-4

1.3 과업수행 절차 및 일정 ····· Ⅰ-5

1.3.1 과업수행 절차 ····· Ⅰ-5

1.3.2 과업수행 일정 ····· Ⅰ-6

1.4 대상시설물의 현황 ····· Ⅰ-7

1.4.1 현황 ····· Ⅰ-7

1.4.2 터널 주요도면 ····· Ⅰ-8

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황 ····· Ⅰ-24

1.6 기호의 정의 ····· Ⅰ-25

제 2장 자료수집 및 분석 ····· Ⅰ-27

2.1 자료수집 현황 ····· Ⅰ-29

2.1.1 자료수집 현황 ····· Ⅰ-29

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· Ⅰ-30

2.2.1 기본사항 ····· Ⅰ-30

2.3 기 점검 실시결과 요약 ····· Ⅰ-42

2.3.1 기 점검 이력 ····· Ⅰ-42

2.3.2 기 정밀점검 실시결과(2013년 12월) ····· Ⅰ-49

2.4 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-56

2.5 내진설계여부 ····· Ⅰ-57
2.6 자료분석 결과 ····· Ⅰ-57

제 3장 현장조사 및 시험 개요 ····· Ⅰ-59
3.1 현장조사 개요 ····· Ⅰ-61
3.1.1 현장조사 수행 현황 ····· Ⅰ-61
3.2 내구성 시험 및 측정 개요 ····· Ⅰ-63
3.2.1 콘크리트 내구성 조사 ····· Ⅰ-63
3.2.2 시험내용 및 평가기준 ····· Ⅰ-63
3.3 G.P.R 탐사 개요 ····· Ⅰ-76
3.3.1 개요 ····· Ⅰ-76
3.3.4 자료분석 ····· Ⅰ-80

제 4장 상태평가 개요 ····· Ⅰ-83
4.1 개요 ····· Ⅰ-85
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· Ⅰ-85
4.2.1 상태평가 기준 ····· Ⅰ-85
4.2.2 상태평가 항목 및 기준 ····· Ⅰ-91
4.2.3 상태평가 등급 산정방법 ····· Ⅰ-97

제 5장 종합평가 및 안전등급 지정 개요 ····· Ⅰ-101
5.1 종합평가 기준 ····· Ⅰ-103
5.2 안전등급 기준 ····· Ⅰ-104

- 제 Ⅱ 편 무척산터널(대구) -

제 1장 현장조사 및 시험 ····· Ⅱ-1
1.1 외관조사 결과 ····· Ⅱ-3
1.1.1 시공현황 ····· Ⅱ-3
1.1.2 지형 및 지질조건 ····· Ⅱ-4
1.1.3 현장조사 결과 ····· Ⅱ-6
1.1.4 기 점검결과와 비교 ····· Ⅱ-33

1.2 내구성 조사 결과 ····· Ⅱ-34
1.2.1 콘크리트 강도시험 ····· Ⅱ-36
1.2.2 철근탐사시험 ····· Ⅱ-39
1.2.3 탄산화 깊이 측정 ····· Ⅱ-40
1.2.4 염화물함유량 시험 ····· Ⅱ-41
1.2.5 균열깊이 측정결과 ····· Ⅱ-42
1.2.6 단면측량 결과 ····· Ⅱ-43
1.2.7 현장시험 결과 요약 ····· Ⅱ-48
1.2.8 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅱ-49
1.3 G.P.R 탐사 결과 ····· Ⅱ-50
1.3.1 조사구간 선정 ····· Ⅱ-50
1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석 ····· Ⅱ-51
1.3.3 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅱ-60
1.3.4 강지보공 ····· Ⅱ-61

제 2장 시설물의 상태평가 ····· Ⅱ-63
2.1 구간분할 ····· Ⅱ-65
2.2 상태평가 결과 ····· Ⅱ-67
2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과 ····· Ⅱ-67
2.2.2 터널주변 상태평가 결과 ····· Ⅱ-81
2.2.3 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-82
2.2.4 상태평가 결과 ····· Ⅱ-83
2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교 ····· Ⅱ-84

제 3장 시설물의 안전성 평가 ····· Ⅱ-85
3.1 개요 ····· Ⅱ-87
3.1.1 검토 개요 ····· Ⅱ-87
3.1.2 검토위치 선정 ····· Ⅱ-88
3.2 해석조건 및 방법 ····· Ⅱ-88
3.2.1 일반사항 ····· Ⅱ-88
3.2.2 적용된 수치해석 프로그램 ····· Ⅱ-89

3.2.3 해석조건 ····· Ⅱ-92
3.2.4 지반정수 결정 ····· Ⅱ-92
3.2.5 지보재 재료특성 ····· Ⅱ-96
3.2.6 검토하중 ····· Ⅱ-96
3.3 해석결과 및 분석 ····· Ⅱ-97
3.3.1 무척산터널 NATM 시점부(STA.24k+682) ····· Ⅱ-97
3.3.2 무척산터널 NATM 종점부(STA.26k+622) ····· Ⅱ-108
3.4 결론 ····· Ⅱ-119
3.4.1 무척산터널 시점부 ····· Ⅱ-119
3.4.2 무척산터널 종점부 ····· Ⅱ-119

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· Ⅱ-121
4.1 종합평가 결과 ····· Ⅱ-123
4.1.1 검토 개요 ····· Ⅱ-123
4.1.2 기 점검과의 비교 ····· Ⅱ-123
4.2 시설물의 안전등급 ····· Ⅱ-124

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· Ⅱ-125
5.1 개 요 ····· Ⅱ-127
5.2 보수·보강 방안 ····· Ⅱ-129
5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정 ····· Ⅱ-129
5.2.2 결함내용별 보수·보강방안 ····· Ⅱ-131
5.2.3 보수·보강 방안 ····· Ⅱ-132
5.2.4 보수 후 성능평가 방법 ····· Ⅱ-142
5.3 보수·보강 개략공사비 ····· Ⅱ-145
5.4 유지관리 방안 ····· Ⅱ-147
5.4.1 유지관리 일반 ····· Ⅱ-147
5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅱ-150
5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항 ····· Ⅱ-151
5.4.4 부위별 점검요령 ····· Ⅱ-152

제 6장 종합결론 ····· Ⅱ-155

- 제 Ⅲ 편 무척산터널(부산) -

제 1장 현장조사 및 시험 ····· Ⅲ-1
1.1 외관조사 결과 ····· Ⅲ-3
1.1.1 시공현황 ····· Ⅲ-3
1.1.2 지형 및 지질조건 ····· Ⅲ-4
1.1.3 현장조사 결과 ····· Ⅲ-6
1.1.4 기 점검결과와 비교 ····· Ⅲ-32
1.2 내구성 조사 결과 ····· Ⅲ-33
1.2.1 콘크리트 강도시험 ····· Ⅲ-35
1.2.2 철근탐사시험 ····· Ⅲ-38
1.2.3 탄산화 깊이 측정 ····· Ⅲ-39
1.2.4 염화물함유량 시험 ····· Ⅲ-40
1.2.5 균열깊이 측정결과 ····· Ⅲ-41
1.2.6 단면측량 결과 ····· Ⅲ-42
1.2.7 현장시험 결과 요약 ····· Ⅲ-47
1.2.8 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅲ-48
1.3 G.P.R 탐사 결과 ····· Ⅲ-49
1.3.1 조사구간 선정 ····· Ⅲ-49
1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석 ····· Ⅲ-50
1.3.3 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅲ-59
1.3.4 강지보공 ····· Ⅲ-59

제 2장 시설물의 상태평가 ····· Ⅲ-61
2.1 구간분할 ····· Ⅲ-63
2.2 상태평가 결과 ····· Ⅲ-65
2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과 ····· Ⅲ-65
2.2.2 터널주변 상태평가 결과 ····· Ⅲ-79
2.2.3 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅲ-80
2.2.4 상태평가 결과 ····· Ⅲ-81

2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교 ····· Ⅲ-82

제 3장 시설물의 안전성 평가 ····· Ⅲ-83

3.1 개요 ····· Ⅲ-85

3.1.1 검토 개요 ····· Ⅲ-85

3.1.2 검토위치 선정 ····· Ⅲ-86

3.2 해석조건 및 방법 ····· Ⅲ-86

3.2.1 일반사항 ····· Ⅲ-86

3.2.2 적용된 수치해석 프로그램 ····· Ⅲ-87

3.2.3 해석조건 ····· Ⅲ-90

3.2.4 지반정수 결정 ····· Ⅲ-90

3.2.5 지보재 재료특성 ····· Ⅲ-94

3.2.6 검토하중 ····· Ⅲ-94

3.3 해석결과 및 분석 ····· Ⅲ-95

3.3.1 무척산터널 NATM 시점부(STA.24k+682) ····· Ⅲ-95

3.3.2 무척산터널 NATM 종점부(STA.26k+622) ····· Ⅲ-106

3.4 결론 ····· Ⅲ-117

3.4.1 무척산터널 시점부 ····· Ⅲ-117

3.4.2 무척산터널 종점부 ····· Ⅲ-117

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· Ⅲ-119

4.1 종합평가 결과 ····· Ⅲ-121

4.1.1 검토 개요 ····· Ⅲ-121

4.1.2 기 점검과의 비교 ····· Ⅲ-121

4.2 시설물의 안전등급 ····· Ⅲ-122

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· Ⅲ-123

5.1 개 요 ····· Ⅲ-125

5.2 보수·보강 방안 ····· Ⅲ-127

5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정 ····· Ⅲ-127

5.2.2 결함내용별 보수·보강방안 ····· Ⅲ-129

5.2.3 보수·보강 방안 ····· Ⅲ-130
5.2.4 보수 후 성능평가 방법 ····· Ⅲ-140
5.3 보수·보강 개략공사비 ····· Ⅲ-143
5.4 유지관리 방안 ····· Ⅲ-145
5.4.1 유지관리 일반 ····· Ⅲ-145
5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅲ-148
5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항 ····· Ⅲ-149
5.4.4 부위별 점검요령 ····· Ⅲ-150

제 6장 종합결론 ····· Ⅲ-153

◉ 부 록

1. 과업지시서
2. 측정, 시험 성과표
3. 상태평가 결과 자료
4. 안전성 평가 결과 자료
5. 시설물 관리대장 사본
6. 사용장비 및 기기의 사진
7. 현환조사 및 외관조사 사진첩
8. 사전조사 자료 일체

표 목 차

- 제 Ⅰ 편 공통편 -

【표 1.2.1】 과업의 내용 ····· Ⅰ-4
【표 1.3.1】 정밀안전진단 과업수행 일정 ····· Ⅰ-6
【표 1.4.1】 무척산터널 현황표 ····· Ⅰ-7
【표 1.5.1】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항 ····· Ⅰ-24
【표 1.6.1】 터널 기호의 정의 ····· Ⅰ-25
【표 2.1.1】 자료수집 현황 ····· Ⅰ-29
【표 2.2.1】 터널 환기 계획-무척산터널 ····· Ⅰ-31
【표 2.2.2】 피난연결통로 설치에 의한 문제점 및 대책 ····· Ⅰ-31
【표 2.2.3】 터널위치 ····· Ⅰ-33
【표 2.2.4】 단면해석에 활용된 지반 물성치 ····· Ⅰ-35
【표 2.2.5】 단면해석에 활용된 지보재 물성치 ····· Ⅰ-35
【표 2.2.6】 지보패턴 ····· Ⅰ-36
【표 2.2.7】 해석단면 위치 ····· Ⅰ-37
【표 2.3.1】 무척산터널(대구) 기 점검 이력 ····· Ⅰ-42
【표 2.3.2】 무척산터널(부산) 기 점검이력 ····· Ⅰ-45
【표 2.4.1】 무척산 터널(대구) 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-56
【표 2.4.2】 무척산 터널(부산) 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-56
【표 2.6.1】 자료분석 결과요약 ····· Ⅰ-57
【표 3.1.1】 부재별 주요조사 항목 ····· Ⅰ-62
【표 3.2.1】 보정반발경도(Ro) ····· Ⅰ-64
【표 3.2.2】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험) ····· Ⅰ-65
【표 3.2.3】 재령계수 α 값 ····· Ⅰ-65
【표 3.2.4】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험) ····· Ⅰ-68
【표 3.2.5】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인 ····· Ⅰ-72
【표 3.2.6】 탄산화 상태평가 기준 ····· Ⅰ-73
【표 3.2.7】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007)) ····· Ⅰ-74
【표 3.2.8】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)) ····· Ⅰ-75
【표 3.3.1】 G.P.R 장비 제원 ····· Ⅰ-76
【표 3.3.2】 일반적 물질의 전자기적 성질 ····· Ⅰ-79
【표 4.2.1】 터널의 기본시설물과 부대시설물의 종류 ····· Ⅰ-85
【표 4.2.2】 터널 상태평가 항목 ····· Ⅰ-86

【표 4.2.3】 NATM터널(무근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-86
【표 4.2.4】 NATM터널(철근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-87
【표 4.2.5】 개착식터널 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-87
【표 4.2.6】 부대시설 상태평가 항목 ····· Ⅰ-88
【표 4.2.7】 부대시설의 가중치 ····· Ⅰ-89
【표 4.2.8】 부대시설(무근콘크리트) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-90
【표 4.2.9】 부대시설(철근콘크리트) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-90
【표 4.2.10】 균열 상태평가 기준 ····· Ⅰ-91
【표 4.2.11】 누수 상태평가 기준 ····· Ⅰ-92
【표 4.2.12】 파손 및 손상 상태평가 기준 ····· Ⅰ-92
【표 4.2.13】 재질열화 상태평가 기준 ····· Ⅰ-93
【표 4.2.14】 배수상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-94
【표 4.2.15】 지반상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-94
【표 4.2.16】 갱문(접속부)상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-95
【표 4.2.17】 공동구상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-95
【표 4.2.18】 특수조건(추가점수) 상태평가 기준 ····· Ⅰ-95
【표 4.2.19】 균열 상태평가 기준 ····· Ⅰ-96
【표 4.2.20】 파손 및 손상 상태평가 기준 ····· Ⅰ-96
【표 4.2.21】 터널 상태평가 결과 산정 ····· Ⅰ-97
【표 4.2.22】 부대시설의 가중치 ····· Ⅰ-99
【표 5.2.1】 안전등급 기준 ····· Ⅰ-104

- 제 Ⅱ 편 무척산터널(대구) -

【표 1.1.1】 무척산터널(대구방향) 시공현황 ····· Ⅱ-3
【표 1.1.2】 Span별 시공현황 ····· Ⅱ-8
【표 1.1.3】 터널 시점부 손상현황 ····· Ⅱ-12
【표 1.1.4】 터널 종점부 손상현황 ····· Ⅱ-14
【표 1.1.5】 지보패턴별 균열발생 빈도 ····· Ⅱ-17
【표 1.1.6】 전체 균열발생 현황 ····· Ⅱ-18
【표 1.1.7】 횡방향 균열발생 현황 ····· Ⅱ-20
【표 1.1.8】 측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황 ····· Ⅱ-21
【표 1.1.9】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-22
【표 1.1.10】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-22
【표 1.1.11】 기타 손상 발생 현황 ····· Ⅱ-24
【표 1.1.12】 공동구 손상발생 현황 ····· Ⅱ-25
【표 1.1.13】 배수시설 손상발생 현황 ····· Ⅱ-26
【표 1.1.14】 도로부(포장면) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-27

【표 1.1.15】 부대시설 손상발생 현황 ····· Ⅱ-30
【표 1.1.16】 옥외공동구 손상발생 현황 ····· Ⅱ-31
【표 1.1.17】 외관조사 결과 ····· Ⅱ-32
【표 1.1.18】 기 점검결과와 손상물량 비교표 ····· Ⅱ-33
【표 1.2.1】 무척산터널(대구) 콘크리트 비파괴시험 현황 ····· Ⅱ-34
【표 1.2.2】 비파괴강도 시험결과 ····· Ⅱ-36
【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석 ····· Ⅱ-38
【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅱ-38
【표 1.2.5】 철근탐사시험 결과 ····· Ⅱ-39
【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석 ····· Ⅱ-39
【표 1.2.7】 탄산화깊이 측정결과 및 평가 ····· Ⅱ-40
【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅱ-41
【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가 ····· Ⅱ-41
【표 1.2.10】 균열깊이 측정결과 ····· Ⅱ-42
【표 1.2.11】 무척산터널(대구) 종단측량 결과 ····· Ⅱ-43
【표 1.2.12】 무척산터널(대구) 내공변위 측량 결과 ····· Ⅱ-44
【표 1.2.13】 현장시험 결과 요약 ····· Ⅱ-48
【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅱ-49
【표 1.3.1】 탐사구간 및 연장 ····· Ⅱ-50
【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅱ-51
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅱ-51
【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께부족구간 ····· Ⅱ-52
【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부) ····· Ⅱ-54
【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부) ····· Ⅱ-57
【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선) ····· Ⅱ-60
【표 1.3.8】 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅱ-61
【표 1.3.9】 강지보공 탐사구간 ····· Ⅱ-61
【표 2.2.1】 콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-67
【표 2.2.2】 콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-74
【표 2.2.3】 터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-81
【표 2.2.4】 터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-81
【표 2.2.5】 터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-81
【표 2.2.6】 터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-81
【표 2.2.7】 피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ···· Ⅱ-82
【표 2.2.8】 피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-82
【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-83
【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-83
【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-83

【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과 ····· Ⅱ-84
【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교 ····· Ⅱ-84
【표 3.1.1】 안전성 평가항목 ····· Ⅱ-87
【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수 ····· Ⅱ-93
【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비 ····· Ⅱ-93
【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계 ····· Ⅱ-93
【표 3.2.4】 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수 ····· Ⅱ-94
【표 3.2.5】 N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계 ····· Ⅱ-95
【표 3.2.6】 N치를 이용한 내부마찰각(φ)의 추정식 ····· Ⅱ-95
【표 3.2.7】 무척산터널 설계 적용 지반정수 ····· Ⅱ-95
【표 3.2.8】 지보재 재료특성 ····· Ⅱ-96
【표 3.2.9】 하중분배율 ····· Ⅱ-96
【표 4.1.1】 종합평가 결과 변화 비교 ····· Ⅱ-123
【표 4.2.1】 시설물의 안전등급 ····· Ⅱ-124
【표 5.1.1】시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 ····· Ⅱ-128
【표 5.2.1】보수・보강 우선순위 결정 기준 ····· Ⅱ-129
【표 5.2.2】보수・보강 일람표 ····· Ⅱ-131
【표 5.2.3】표면보수 재료목록 ····· Ⅱ-132
【표 5.2.4】KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지) ····· Ⅱ-134
【표 5.2.5】저압・저속식 주입방법 ····· Ⅱ-135
【표 5.2.6】균열폭에 알맞은 수지의 점성도 ····· Ⅱ-135
【표 5.2.7】일반적인 주입파이프의 간격 ····· Ⅱ-135
【표 5.2.8】균열주입공법 비교 ····· Ⅱ-136
【표 5.2.9】콘크리트 단면보수 공법 비교 ····· Ⅱ-139
【표 5.3.1】보수・보강 개략공사비 ····· Ⅱ-145
【표 5.4.1】점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅱ-150
【표 5.4.2】등급별 실시주기 ····· Ⅱ-150
【표 5.4.3】부재별 유지관리 중점사항 ····· Ⅱ-151

- 제 Ⅲ 편 무척산터널(부산) -

【표 1.1.1】 무척산터널(부산방향) 시공현황 ····· Ⅲ-3
【표 1.1.2】 Span별 시공현황 ····· Ⅲ-8
【표 1.1.3】 터널 시점부 손상현황 ····· Ⅲ-12
【표 1.1.4】 터널 종점부 손상현황 ····· Ⅲ-14
【표 1.1.5】 지보패턴별 균열발생 빈도 ····· Ⅲ-16
【표 1.1.6】 전체 균열발생 현황 ····· Ⅲ-17
【표 1.1.7】 횡방향 균열발생 현황 ····· Ⅲ-19

【표 1.1.8】 측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황 ····· Ⅲ-20
【표 1.1.9】 철근노출 손상발생 현황 ····· Ⅲ-20
【표 1.1.10】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-21
【표 1.1.11】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-21
【표 1.1.12】 기타 손상 발생 현황 ····· Ⅲ-24
【표 1.1.13】 공동구 손상발생 현황 ····· Ⅲ-25
【표 1.1.14】 배수시설 손상발생 현황 ····· Ⅲ-26
【표 1.1.15】 도로부(포장면) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-27
【표 1.1.16】 부대시설 손상발생 현황 ····· Ⅲ-30
【표 1.1.17】 외관조사 결과 ····· Ⅲ-31
【표 1.1.18】 기 점검결과와 손상물량 비교표 ····· Ⅲ-32
【표 1.2.1】 무척산터널(부산) 콘크리트 비파괴시험 현황 ····· Ⅲ-33
【표 1.2.2】 비파괴강도 시험결과 ····· Ⅲ-35
【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석 ····· Ⅲ-37
【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅲ-37
【표 1.2.5】 철근탐사시험 결과 ····· Ⅲ-38
【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석 ····· Ⅲ-38
【표 1.2.7】 탄산화깊이 측정결과 및 평가 ····· Ⅲ-39
【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅲ-40
【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가 ····· Ⅲ-40
【표 1.2.10】 균열깊이 측정결과 ····· Ⅲ-41
【표 1.2.11】 무척산터널(부산) 종단측량 결과 ····· Ⅲ-42
【표 1.2.12】 무척산터널(부산) 내공변위 측량 결과 ····· Ⅲ-43
【표 1.2.13】 현장시험 결과 요약 ····· Ⅲ-47
【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅲ-48
【표 1.3.1】 탐사구간 및 연장 ····· Ⅲ-49
【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅲ-50
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅲ-50
【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께부족구간 ····· Ⅲ-50
【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부) ····· Ⅲ-52
【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부) ····· Ⅲ-55
【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선) ····· Ⅲ-58
【표 1.3.8】 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅲ-59
【표 1.3.9】 강지보공 탐사구간 ····· Ⅲ-60
【표 2.2.1】 콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-65
【표 2.2.2】 콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-72
【표 2.2.3】 터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-79
【표 2.2.4】 터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-79

【표 2.2.5】 터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과 Ⅲ-79
【표 2.2.6】 터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과 Ⅲ-79
【표 2.2.7】 피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 Ⅲ-80
【표 2.2.8】 피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 Ⅲ-80
【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과 Ⅲ-81
【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과 Ⅲ-81
【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과 Ⅲ-81
【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과 Ⅲ-82
【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교 Ⅲ-82
【표 3.1.1】 안전성 평가항목 Ⅲ-85
【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수 Ⅲ-91
【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비 Ⅲ-91
【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계 Ⅲ-91
【표 3.2.4】 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수 Ⅲ-92
【표 3.2.5】 N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계 Ⅲ-93
【표 3.2.6】 N치를 이용한 내부마찰각(ϕ)의 추정식 Ⅲ-93
【표 3.2.7】 무척산터널 설계 적용 지반정수 Ⅲ-93
【표 3.2.8】 지보재 재료특성 Ⅲ-94
【표 3.2.9】 하중분배율 Ⅲ-94
【표 4.1.1】 종합평가 결과 변화 비교 Ⅲ-121
【표 4.2.1】 시설물의 안전등급 Ⅲ-122
【표 5.1.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 Ⅲ-114
【표 5.1.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 Ⅲ-126
【표 5.2.1】 보수・보강 우선순위 결정 기준 Ⅲ-127
【표 5.2.2】 보수・보강 일람표 Ⅲ-129
【표 5.2.3】 표면보수 재료목록 Ⅲ-130
【표 5.2.4】 KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지) Ⅲ-132
【표 5.2.5】 저압・저속식 주입방법 Ⅲ-133
【표 5.2.6】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도 Ⅲ-133
【표 5.2.7】 일반적인 주입파이프의 간격 Ⅲ-133
【표 5.2.8】 균열주입공법 비교 Ⅲ-134
【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교 Ⅲ-137
【표 5.3.1】 보수・보강 개략공사비 Ⅲ-143
【표 5.4.1】 점검주기 및 주요 조사항목 Ⅲ-148
【표 5.4.2】 등급별 실시주기 Ⅲ-148
【표 5.4.3】 부재별 유지관리 중점사항 Ⅲ-149

그 림 목 차

- 제 Ⅰ 편 공통편 -

【그림 1.3.1】 정밀안전진단 과업수행 흐름도 ····· Ⅰ-5
【그림 1.4.1】 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(1)····· Ⅰ-8
【그림 1.4.2】 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(2)····· Ⅰ-9
【그림 1.4.3】 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(3)····· Ⅰ-10
【그림 1.4.4】 무척산터널 표준단면도····· Ⅰ-11
【그림 1.4.5】 무척산터널 표준지보패턴도····· Ⅰ-12
【그림 1.4.6】 무척산터널 표준지보공도(1)····· Ⅰ-13
【그림 1.4.7】 무척산터널 표준지보공도(2)····· Ⅰ-14
【그림 1.4.8】 무척산터널 표준지보공도(3)····· Ⅰ-15
【그림 1.4.9】 무척산터널 라이닝 철근 보강도(1)····· Ⅰ-16
【그림 1.4.10】 무척산터널 라이닝 철근 보강도(2)····· Ⅰ-17
【그림 1.4.11】 무척산터널 라이닝 철근 보강도(JET FAN구간)····· Ⅰ-18
【그림 1.4.12】 무척산터널 시점부 라이닝 배근도(1)····· Ⅰ-19
【그림 1.4.13】 무척산터널 시점부 라이닝 배근도(2)····· Ⅰ-20
【그림 1.4.14】 무척산터널 종점부 라이닝 배근도····· Ⅰ-21
【그림 1.4.15】 무척산터널 피난연락갱 라이닝 배근도····· Ⅰ-22
【그림 1.4.16】 무척산터널 공동구 및 배수상세도····· Ⅰ-23
【그림 1.6.1】 터널 기호의 정의····· Ⅰ-25
【그림 2.2.1】 무척산 터널 현황(대구)····· Ⅰ-40
【그림 2.2.2】 무척산 터널 현황(부산)····· Ⅰ-41
【그림 3.2.1】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차····· Ⅰ-65
【그림 3.2.2】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차····· Ⅰ-68
【그림 3.2.3】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법····· Ⅰ-68
【그림 3.2.4】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정 ····· Ⅰ-69
【그림 3.2.5】 철근탐사 측정원리····· Ⅰ-71
【그림 3.2.6】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차····· Ⅰ-71
【그림 3.2.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하····· Ⅰ-73
【그림 3.2.8】 Tc-To법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법····· Ⅰ-77
【그림 3.3.1】 G.P.R 신호처리 시스템····· Ⅰ-79

【그림 3.3.2】 G.P.R 탐사모식도 ····· Ⅰ-80
【그림 3.3.3】 G.P.R 단면도 예 ····· Ⅰ-82
【그림 3.3.4】 콘크리트 라이닝 경계면 탐사모식도 ····· Ⅰ-83
【그림 3.3.5】 공동 탐사 예 ····· Ⅰ-83
【그림 3.3.6】 철근 탐사 예 ····· Ⅰ-84
【그림 3.3.7】 강지보공 탐사 예 ····· Ⅰ-84
【그림 4.2.1】 부대시설 분류 ····· Ⅰ-90
【그림 4.2.2】 상태평가 결과 산정절차 ····· Ⅰ-100
【그림 5.1.1】 종합평가 결과 산정 흐름도 ····· Ⅰ-105

- 제 Ⅱ 편 무척산터널(대구) -

【그림 1.1.1】 Span별 시공현황 ····· Ⅱ-6
【그림 1.2.1】 무척산터널(대구) 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· Ⅱ-35
【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과 ····· Ⅱ-37
【그림 1.2.3】 탄산화깊이 측정결과 ····· Ⅱ-40
【그림 1.2.4】 염화물시험 측정결과 ····· Ⅱ-42
【그림 1.3.1】 터널 측선도 ····· Ⅱ-50
【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께부족구간(S126~S128) ····· Ⅱ-52
【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S222~S225) ····· Ⅱ-53
【그림 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S147~S150) ····· Ⅱ-53
【그림 1.3.5】 이상반사파 탐사결과(S143, S200) ····· Ⅱ-60
【그림 2.1.1】 Span별 시공현황 및 구간분할(대구) ····· Ⅱ-65
【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도 ····· Ⅱ-89
【그림 3.2.2】 요소좌표계 ····· Ⅱ-91
【그림 3.2.3】 Truss 요소 ····· Ⅱ-91
【그림 4.1.1】 종합평가 결과 산정 ····· Ⅱ-123
【그림 5.2.1】보수·보강방안 추진방향 ····· Ⅱ-130
【그림 5.2.2】철근노출부 단면복구 개요도 ····· Ⅱ-137
【그림 5.2.3】재료분리, 파손 단면복구 개요도 ····· Ⅱ-138
【그림 5.4.1】유지관리 흐름도 ····· Ⅱ-148

- 제 Ⅲ 편 무척산터널(부산) -

【그림 1.1.1】 Span별 시공현황 ····· Ⅲ-6
【그림 1.2.1】 무척산터널(부산) 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· Ⅲ-34
【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과 ····· Ⅲ-36

【그림 1.2.3】 탄산화깊이 측정결과 ····· Ⅲ-39
【그림 1.2.4】 염화물시험 측정결과 ····· Ⅲ-41
【그림 1.3.1】 터널 측선도 ····· Ⅲ-49
【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께부족구간(S193~S195) ····· Ⅲ-51
【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S228~S230) ····· Ⅲ-51
【그림 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S157~S160) ····· Ⅲ-52
【그림 1.3.5】 이상반사파 탐사결과(S51, S108, S128) ····· Ⅲ-59
【그림 2.1.1】 Span별 시공현황 및 구간분할(부산) ····· Ⅲ-63
【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도 ····· Ⅲ-87
【그림 3.2.2】 요소좌표계 ····· Ⅲ-89
【그림 3.2.3】 Truss 요소 ····· Ⅲ-89
【그림 4.1.1】 종합평가 결과 산정 ····· Ⅲ-121
【그림 5.2.1】보수·보강방안 추진방향 ····· Ⅲ-128
【그림 5.2.2】철근노출부 단면복구 개요도 ····· Ⅲ-135
【그림 5.2.3】재료분리, 파손 단면복구 개요도 ····· Ⅲ-136
【그림 5.4.1】유지관리 흐름도 ····· Ⅲ-146

사 진 목 차

- 제 Ⅰ 편 공통편 -

【사진 3.1.1】 외관조사 전경 ····· Ⅰ-61

- 제 Ⅱ 편 무척산터널(대구) -

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1) ····· Ⅱ-18
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2) ····· Ⅱ-20
【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3) ····· Ⅱ-23
【사진 1.1.4】 기타 손상 외관조사 결과 ····· Ⅱ-24
【사진 1.1.5】 공동구 외관조사 결과 ····· Ⅱ-25
【사진 1.1.6】 배수시설 외관조사 결과 ····· Ⅱ-27
【사진 1.1.7】 도로부 외관조사 결과 ····· Ⅱ-28
【사진 1.1.8】 부대시설 현황 ····· Ⅱ-29
【사진 1.1.9】 부대시설 외관조사 결과 ····· Ⅱ-30
【사진 1.1.10】 옥외공동구 외관조사 결과 ····· Ⅱ-31
【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경 ····· Ⅱ-34

- 제 Ⅲ 편 무척산터널(부산) -

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1) ····· Ⅲ-17
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2) ····· Ⅲ-19
【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3) ····· Ⅲ-20
【사진 1.1.4】 라이닝 외관조사 결과(4) ····· Ⅲ-23
【사진 1.1.5】 기타 손상 외관조사 결과 ····· Ⅲ-24
【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과 ····· Ⅲ-25
【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과 ····· Ⅲ-27
【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과 ····· Ⅲ-28
【사진 1.1.9】 부대시설 현황 ····· Ⅲ-29
【사진 1.1.10】 부대시설 외관조사 결과 ····· Ⅲ-30
【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경 ····· Ⅲ-33

Ⅰ 공 통 편

제 1장 정밀안전진단 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

1.6 기호의 정의

제 1장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”(이하 ” 시특법 “이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 상태평가

4) 안전성 평가

5) 종합평가 및 안전등급 지정

6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시

7) 보고서 작성

8) 터널 하자보고서 작성

9) 선택과업 : 구조해석, GPR탐사 등

1.2.2 과업수행기간

2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31 (착수일로부터 143일간)

1.2.3 과업의 내용

본 과업은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 의거 수행하였으며, 과업의 내용에 대한 세부사항은 다음과 같다.

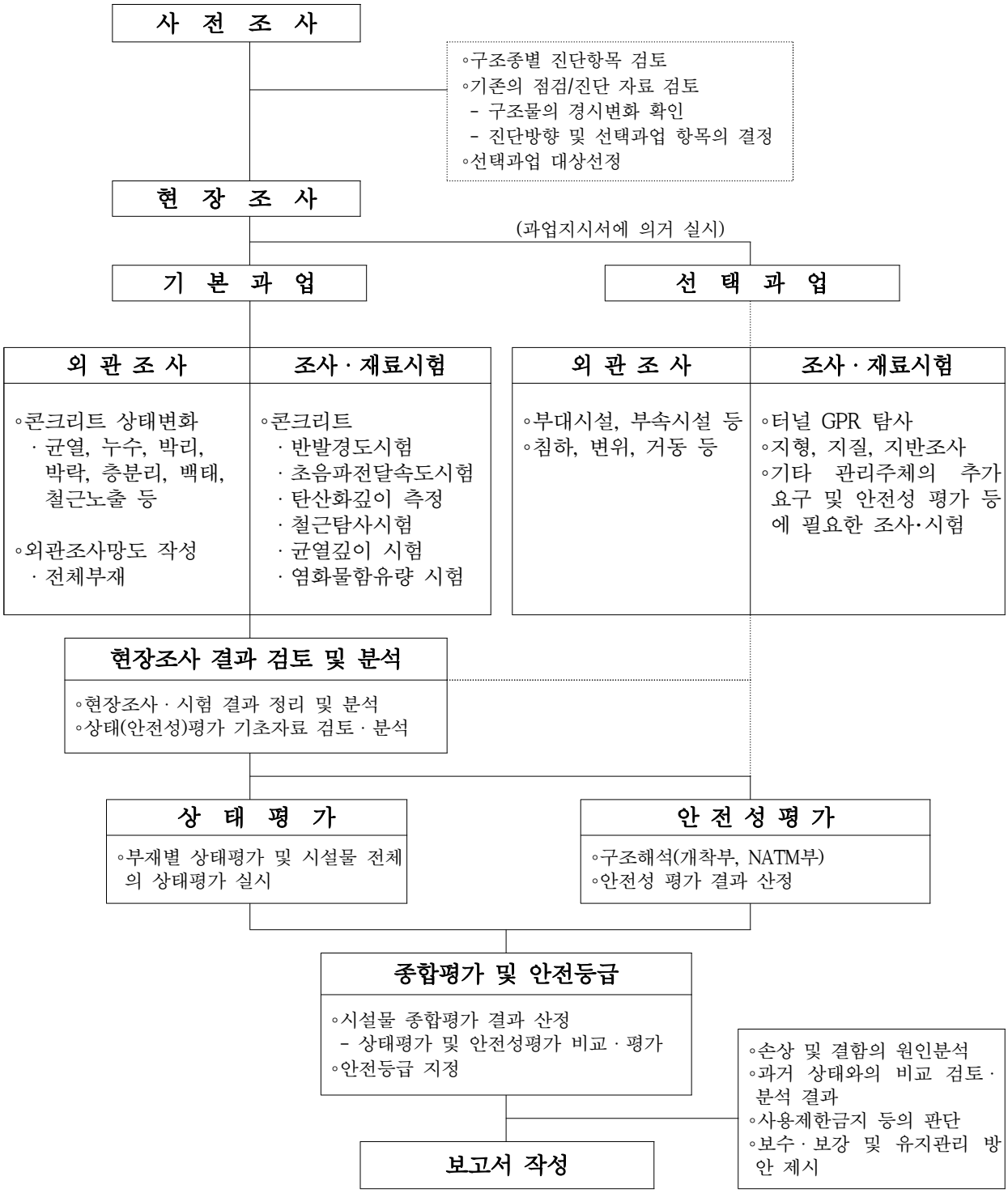
【표 1.2.1】 과업의 내용

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	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2010.12) 적용
현장 조사 및 시험	외관 조사	1) 터널의 제원 및 시공상태 조사 2) 외관 결함 및 손상 등 외관조사 3) 기 점검결과와의 비교	
	내구성 조사	1) 콘크리트 - 콘크리트 강도 조사 : 반발경도시험, 초음파전달속도시험 - 철근탐사시험 : 배근 간격, 피복두께 - 탄산화 깊이 측정 - 균열깊이 조사 - 염화물 함유량 시험	
상태평가		1) 부재별 상태평가 결과 산정 후 시설물 전체의 상태평가 결과 산정 2) 탄산화 및 염화물 함유량에 대한 평가 후 상태평가 항목으로 반영 3) 기 점검결과와의 비교	
안전성 평가		1) 조사, 시험, 측정결과의 분석 2) 기존의 구조계산서, 안전성평가 자료 검토·분석 3) 구조 안전성 평가 4) 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	
종합평가 및 안전등급 지정		1) 상태평가 및 안전성평가 결과를 이용하여 안전등급 지정	
보수 및 보강대책 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) 유지 관리상 문제점과 지침 기준 작성 2) 효율적인 유지관리를 위한 방안 제시	
보고서 작성		1) 최종보고서 작성 및 제출	

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.3.1 과업수행 절차

본 터널의 정밀안전진단 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



【그림 1.3.1】정밀안전진단 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

본 과업을 위해 수행한 정밀안전진단 과업 일정은 다음과 같다.

【표 1.3.1】정밀안전진단 과업수행 일정

공 종		8월			9월			10월			11월			12월			비 고
		11	20	30	10	20	30	10	20	31	10	20	30	10	20	31	
1. 사전조사 ■ 착수 및 예비답사 ■ 관계도서 수집 및 분석 ■ 점검, 보수이력자료 수집 및 검토 ■ 현장조사 계획수립		착수															- 8/5 ~ 8/11 계약 및 착수
2. 현장조사, 상태조사 ■ 외관조사 ■ 비파괴조사(콘크리트) ■ GPR 조사 ■ 상태평가																	- 10/19 ~ 11/3 (2주) - 11월 (추가조사)
3. 시설물의 내하력, 안전성 평가 ■ 안전성 평가																	
4. 보수보강 및 유지관리 방안 제시 ■ 보수·보강방안 제시 ■ 종합평가 ■ 유지관리방안 제시 ■ 관리주체 협의																	
5. 보고서 작성 ■ 최종보고서 작성 ■ 준공																준공	- 12/31 준공
공정율(%)	금 회	15			20			25			25			15			
	누 계	15			35			60			85			100			

1.4 대상시설물의 현황

1.4.1 현황

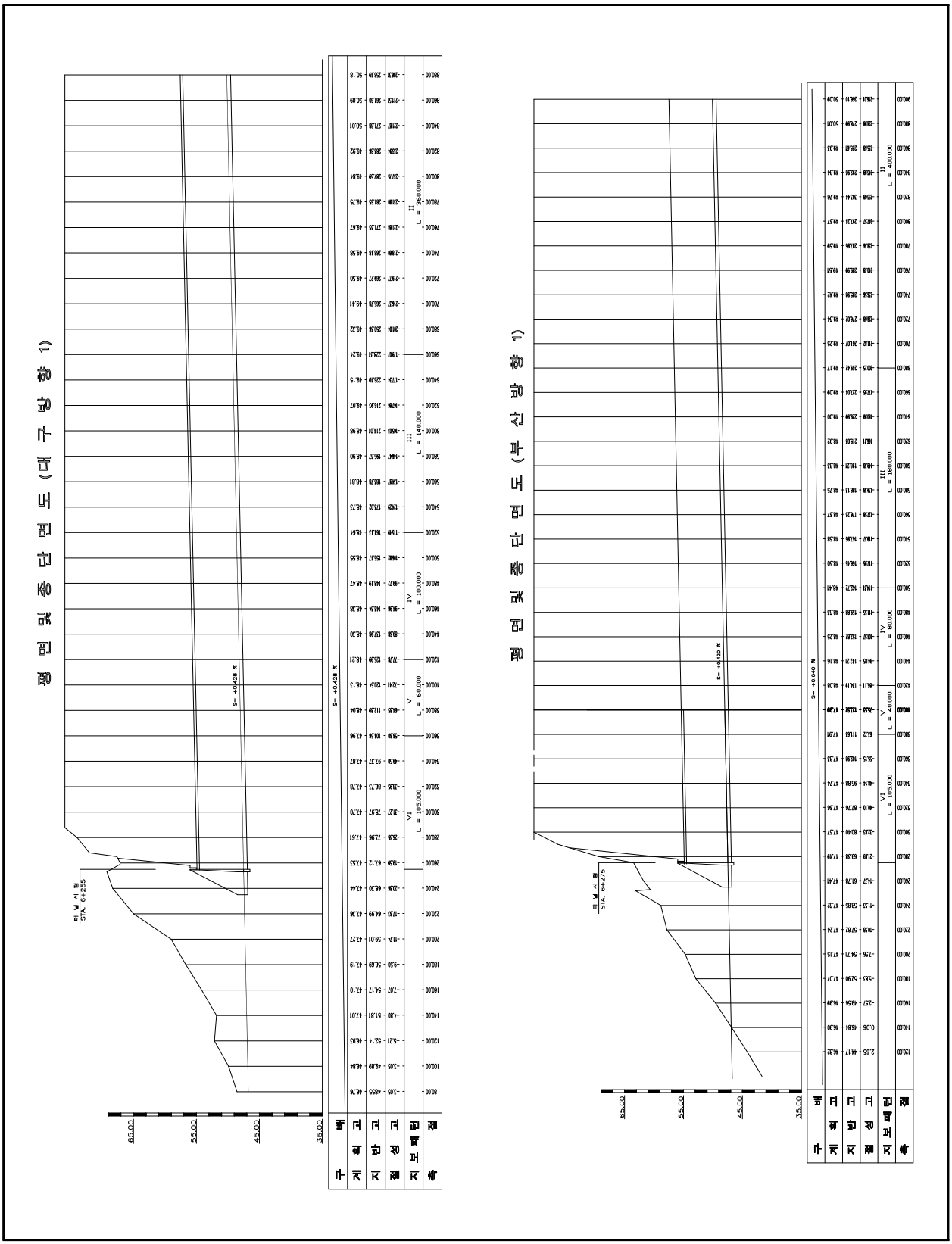
본 과업의 대상시설물인 무척산터널(대구,부산)의 현황은 다음과 같다.

【표 1.4.1】무척산터널 현황표

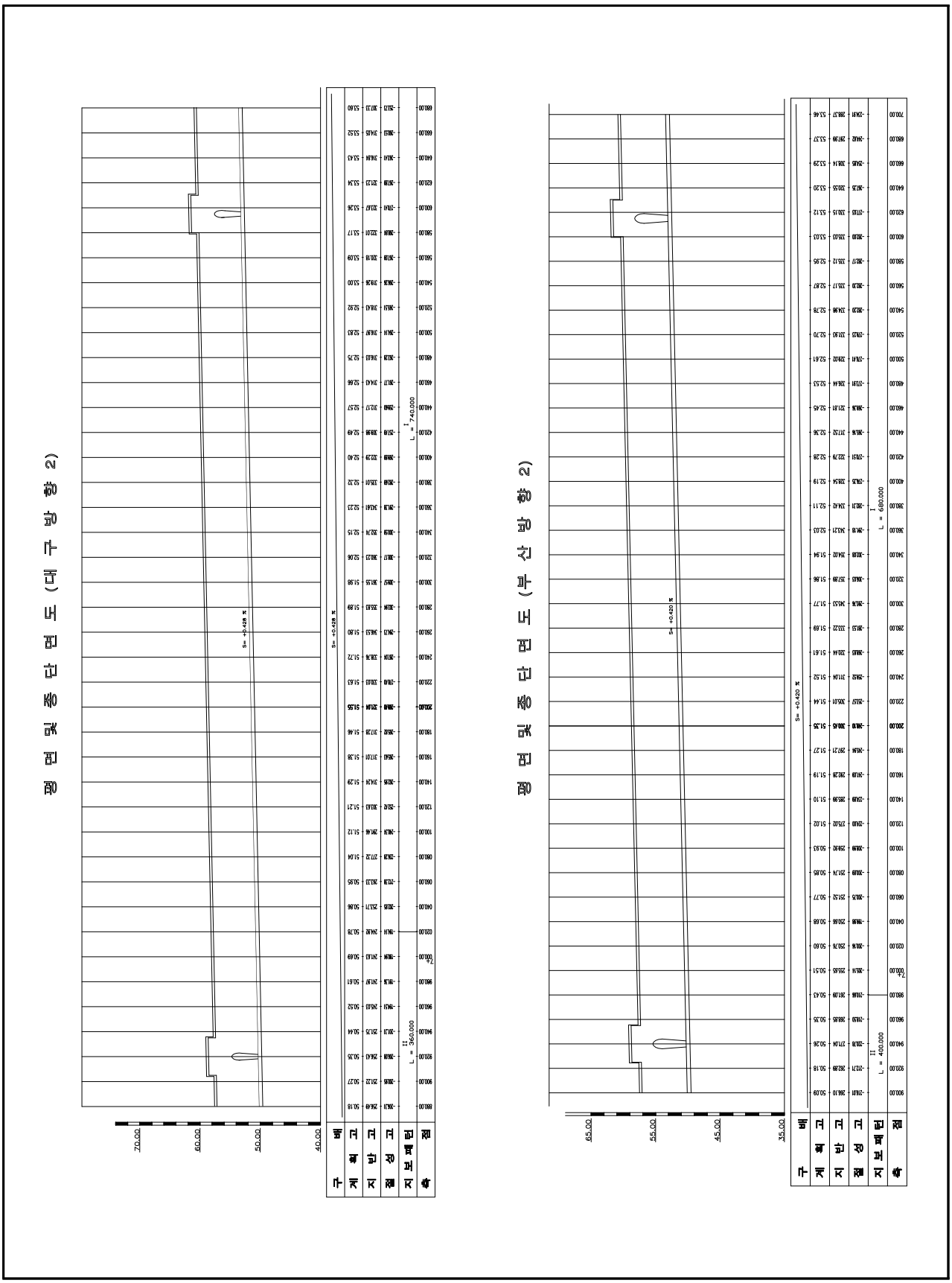
작성일 : 2015년 12월 31일

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000204 부산방향 : TU2006-0000205	관리번호	dbw T.4
노 선 명	고속국도55호선	시 행 자	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 김해시 상동면 여차리 [부산기점 24.60km]	종 점	경상남도 김해시 생림면 안양리 [부산기점 26.67km]
터널형식	NATM	관리주체	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	환기방식	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 2,042m 부산방향 : 2,065m	설 계 사	동명기술동단
내공단면	폭 : 10.6m, 높이 : 7.6m	시 공 사	대우건설(주)
배수형식	THP관 ∅400, 유공관 ∅200	감 리 사	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	상행선 : -0.4280% 하행선 : +0.4200%	착 공	2001년 10월 17일
평균선형	곡선	준 공	2006년 2월 10일
연결통로	-	갱문형식	Bell Mouth, 면벽식
주요공법	숏크리트, 락볼트	보조공법	Fore poling, Pipe Roof Fre-Grouting

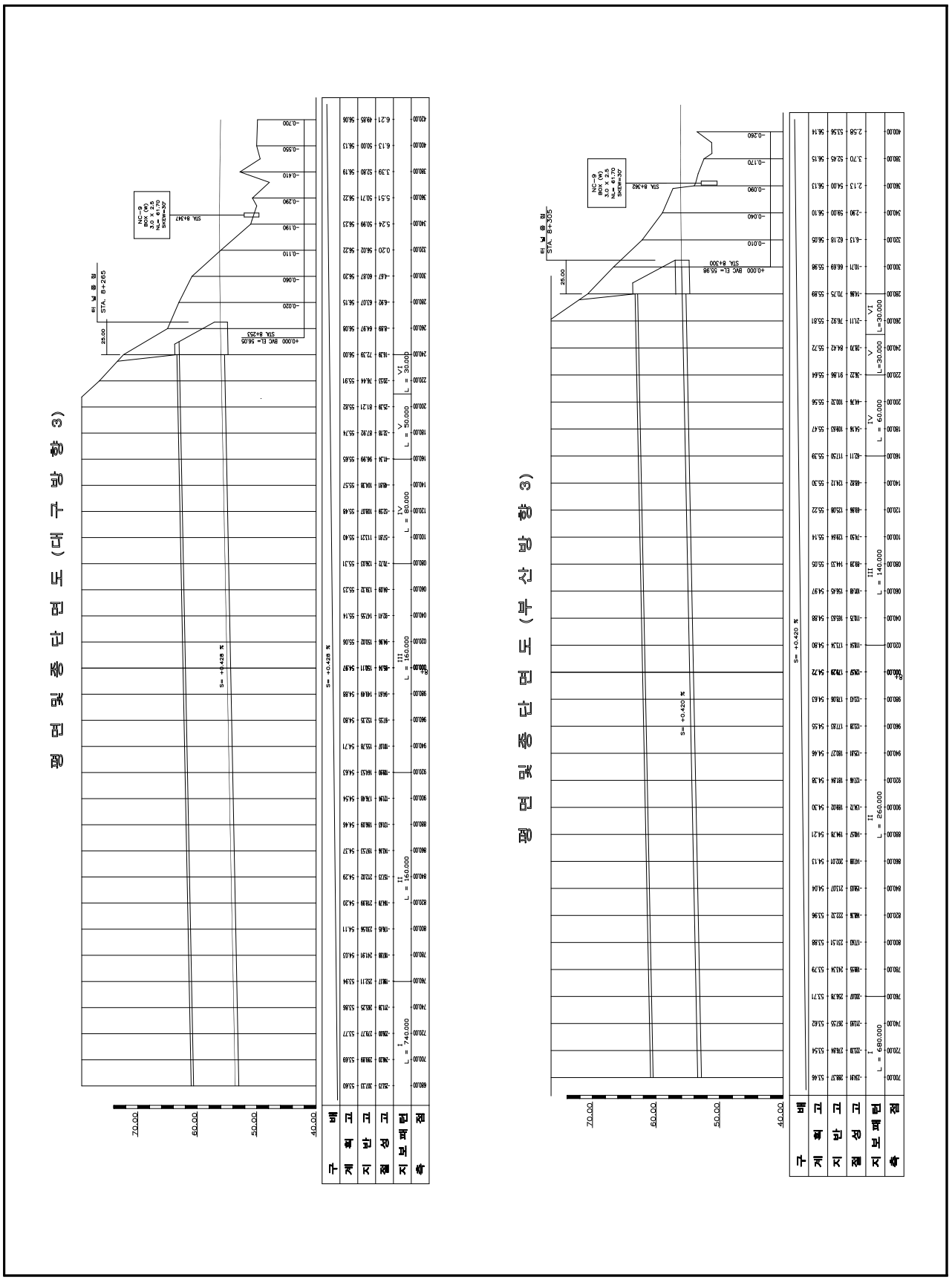
1.4.2 터널 주요도면



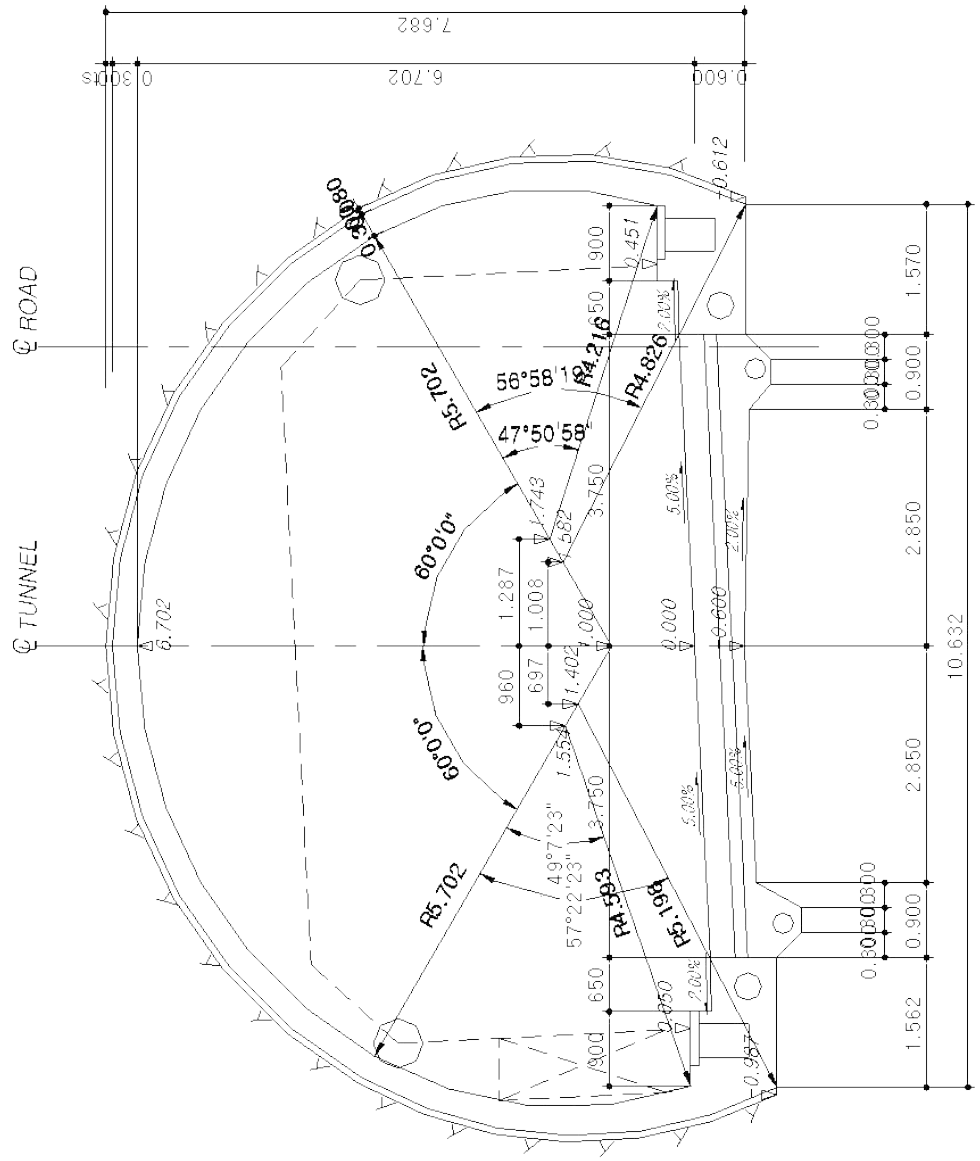
【그림 1.4.1】 무척산터널(대구, 부산) 종・평면도(1)



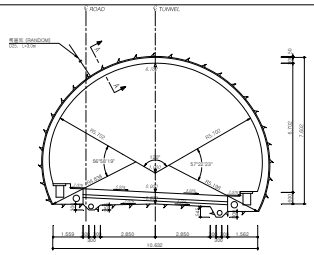
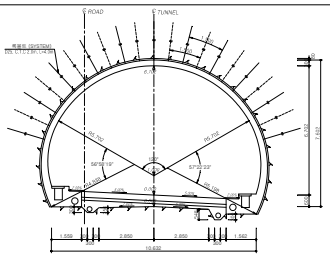
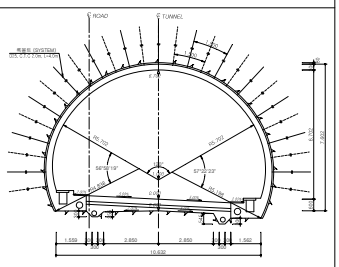
【그림 1.4.2】 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(2)

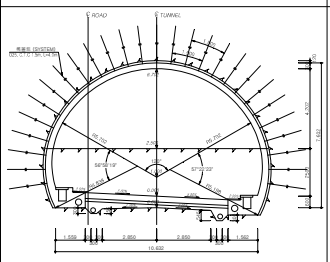
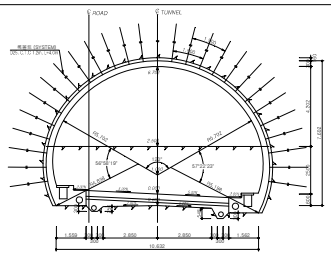
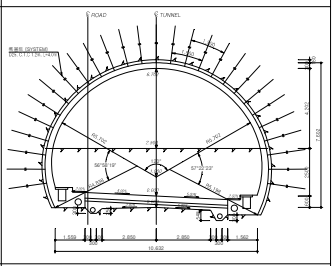


【그림 1.4.3】 무척산터널(대구, 부산) 종·평면도(3)

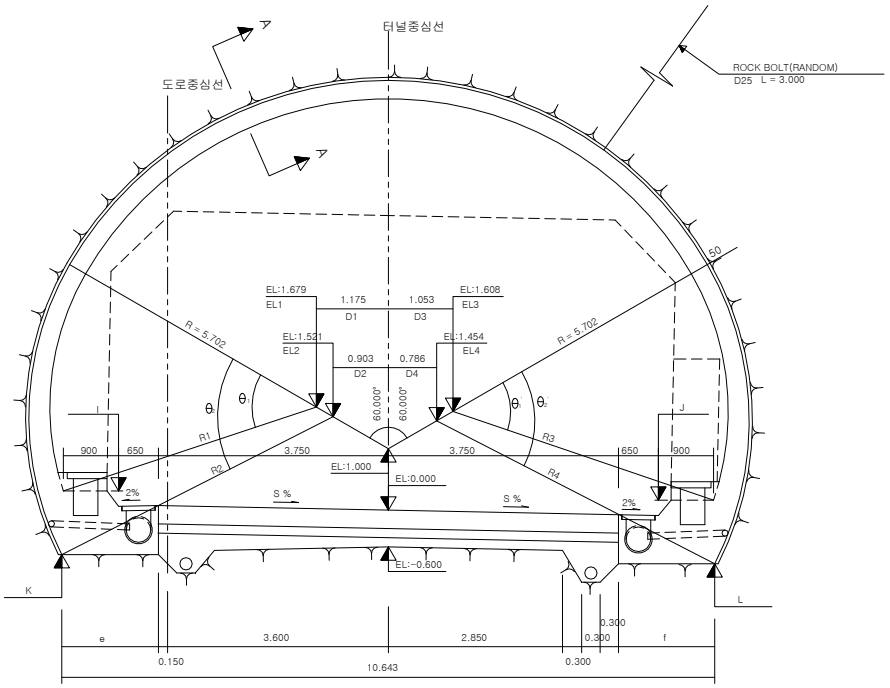


【그림 1.4.4】 무척산터널 표준단면도

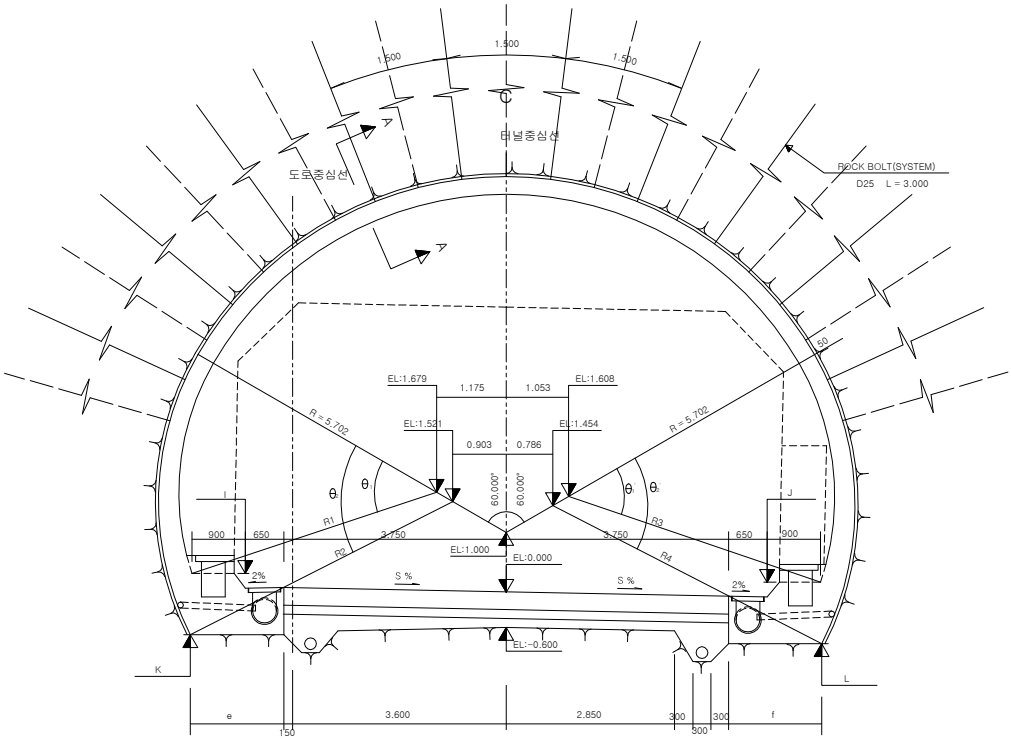
구 분			표 준 TYPE - 1	표 준 TYPE - 2	표 준 TYPE - 3
표준단면도					
적용구간			대구방향: 7+020 ~ 7+760 부산방향: 7+080 ~ 7+760	대구방향: 6+660~7+020,7+760~7+920 부산방향: 6+680~7+080,7+760~8+020	대구방향: 6+520~6+660,7+920~8+080 부산방향: 6+500~6+680,8+020~8+160
대상토질			경 암	보통암	연 암
굴착	굴착공법		전단면굴착	전단면굴착	전단면굴착
	1회 굴진장/ 굴진장		3.0M / 6.0M	3.0M / 3.0M	2.0M / 2.0M
지보패턴	숏크리트(SHOTCRETE)		5CM	5CM	8CM
	록볼트 (ROCK BOLT)	길 이	3.0M	3.0M	4.0M
		갯 수	1.334 {상부:0.667, 하부:0.667}	3.500 {상부:2.833, 하부:0.667}	7.250 {상부:4.250, 하부:3.000}
		위 치	RANDOM	천 정	천정및측벽
	강성유보강		—	Ø 0.5mm, L=30mm	Ø 0.5mm, L=30mm
	강지보공 (STEEL RIB)	강재규격	—	—	—
		설치간격	—	—	—
라이닝 콘크리트 (LINING CONCRETE)		두 께	30CM	30CM	30CM
		철근배근	—	—	—

구 분			표 준 TYPE - 4	표 준 TYPE - 5	표 준 TYPE - 6
표준단면도					
적용구간			대구방향: 6+420~6+520,8+080~8+160 부산방향: 6+420~6+500,8+160~8+220	대구방향: 6+360~6+420,8+160~8+210 부산방향: 6+380~6+420,8+220~8+250	대구방향: 6+255~6+360,8+210~8+240 부산방향: 6+275~6+380,8+250~8+280
대상토질			풍화암	풍화암(토)	풍화암(토)
굴착	굴착공법		반단면굴착	반단면굴착	반단면굴착
	1회 굴진장 / 굴진장		(상)1.5M/1.5M, (하)1.5M/3.0M	(상)1.2M/1.2M, (하)1.2M/1.2M	(상)1.2M/1.2M, (하)1.2M/1.2M
지보패턴	숏크리트(SHOTCRETE)		12CM	16CM	16CM
	록볼트 (ROCK BOLT)	길 이	4.0M	4.0M	4.0M
		갯 수	9.667 { 상부:5.667, 하부:4.000 }	12.083 { 상부:7.083, 하부:5.000 }	12.083 { 상부:7.083, 하부:5.000 }
		위 치	천정및측벽	천정및측벽	천정및측벽
	강성유보강		Ø 0.5mm, L = 30mm	Ø 0.5mm, L = 30mm	Ø 0.5mm, L = 30mm
	강지보공 (STEEL RIB)	강재규격	H 100 x 100 x 6 x 8	H 100 x 100 x 6 x 8	H 100 x 100 x 6 x 8
		설치간격	1.5M	1.2M	0.6M
라이닝 콘크리트 (LINING CONCRETE)		두 께	30CM	30CM	30CM
		철근배근	—	—	D25 @ 150

【그림 1.4.5】무척산터널 표준지보패턴도

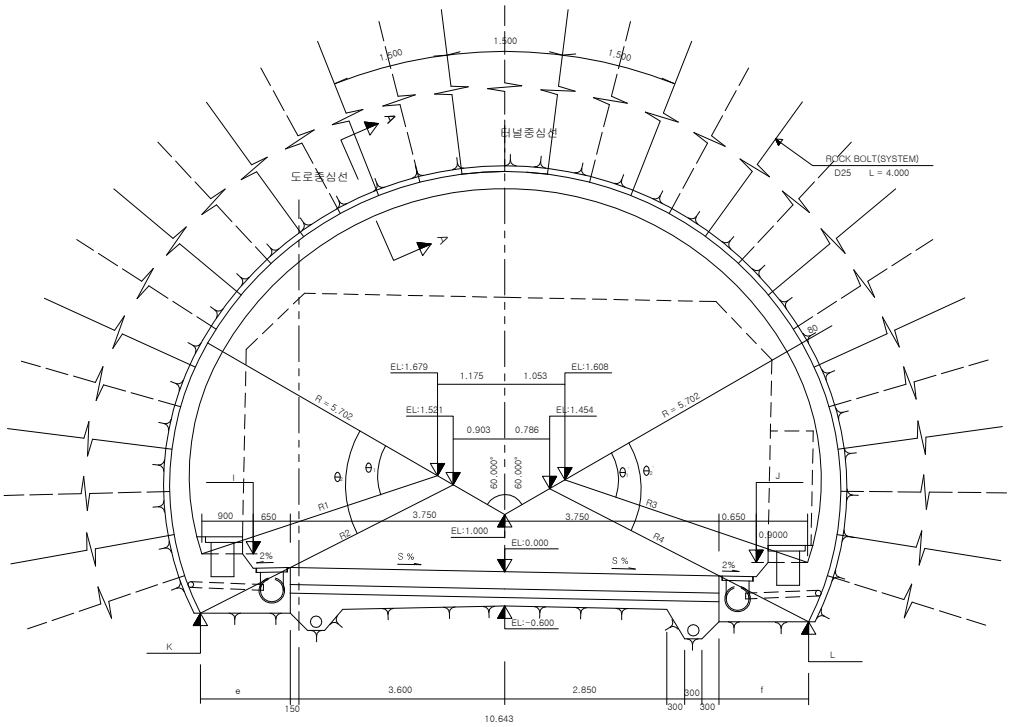


<표준 TYPE-1>

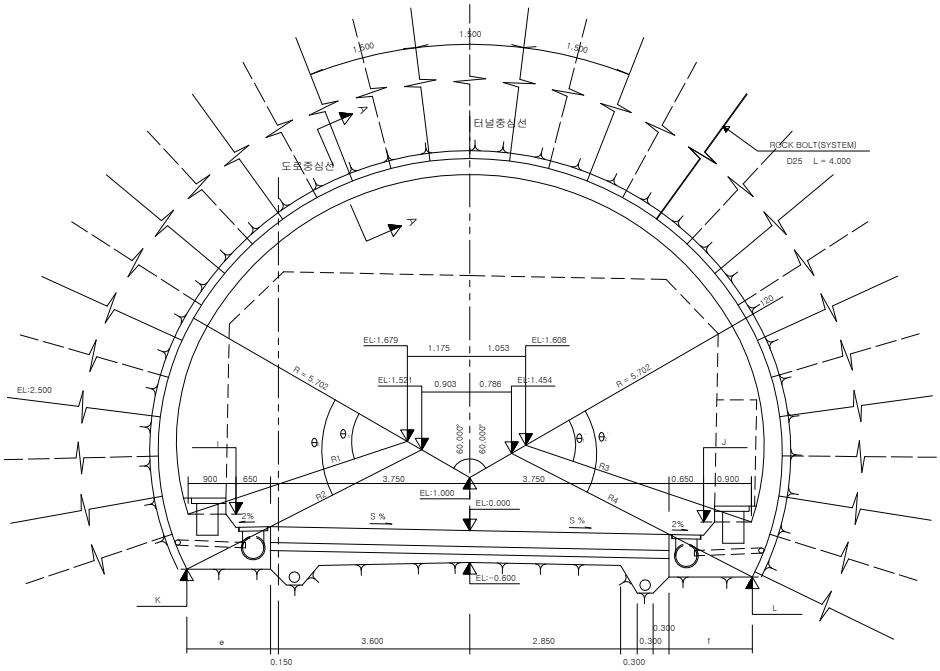


<표준 TYPE-2>

【그림 1.4.6】무척산터널 표준지보공도(1)

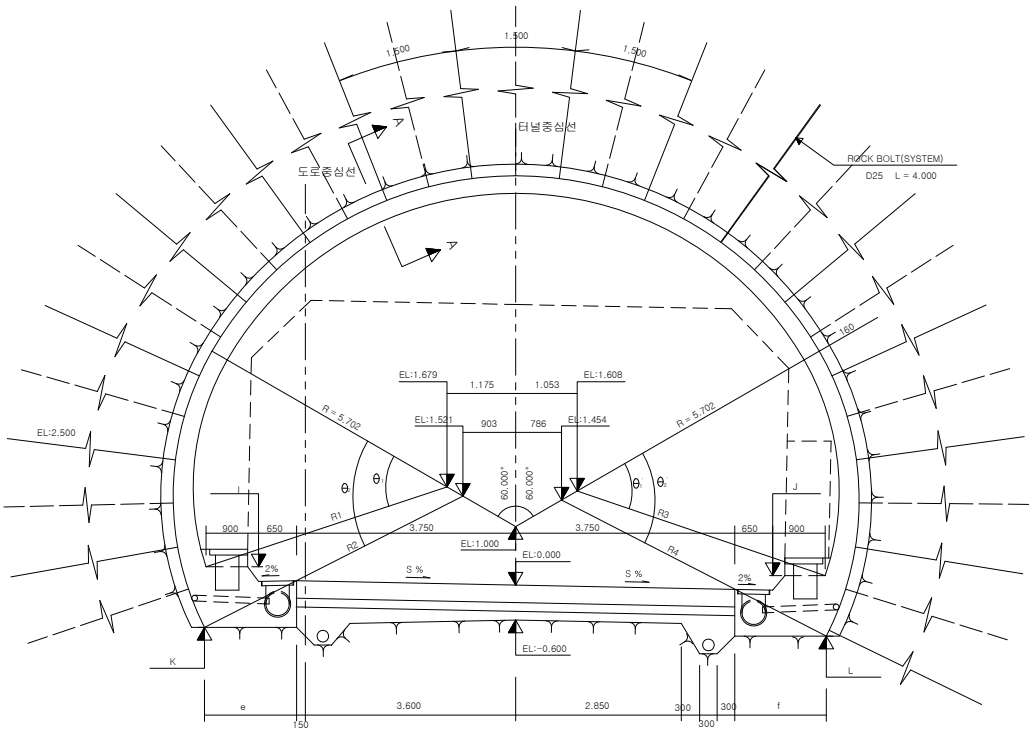


〈표준 TYPE-3〉

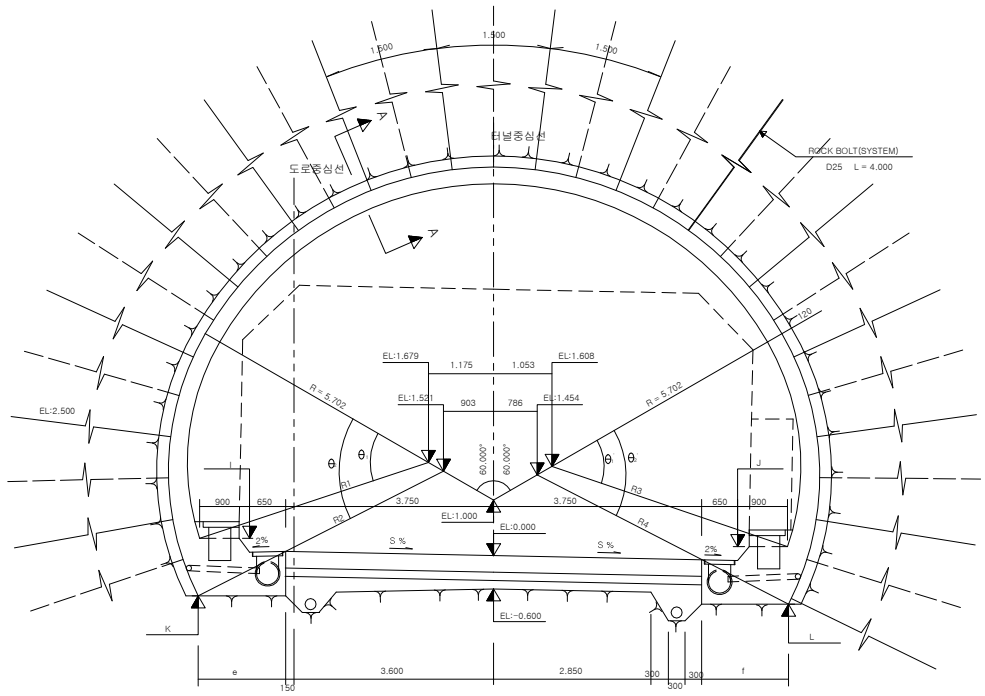


〈표준 TYPE-4〉

【그림 1.4.7】무척산터널 표준지보공도(2)

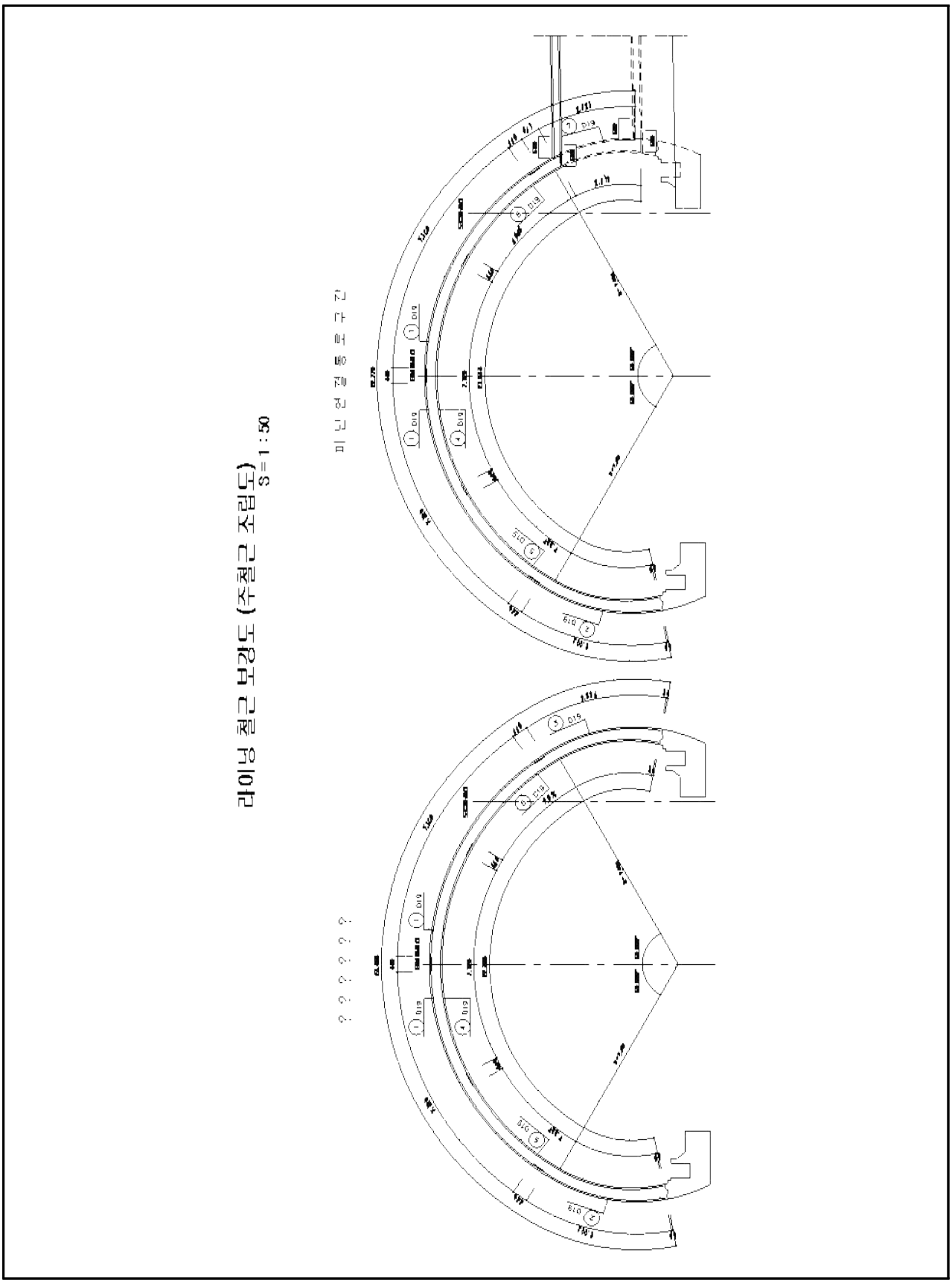


<표준 TYPE-5>

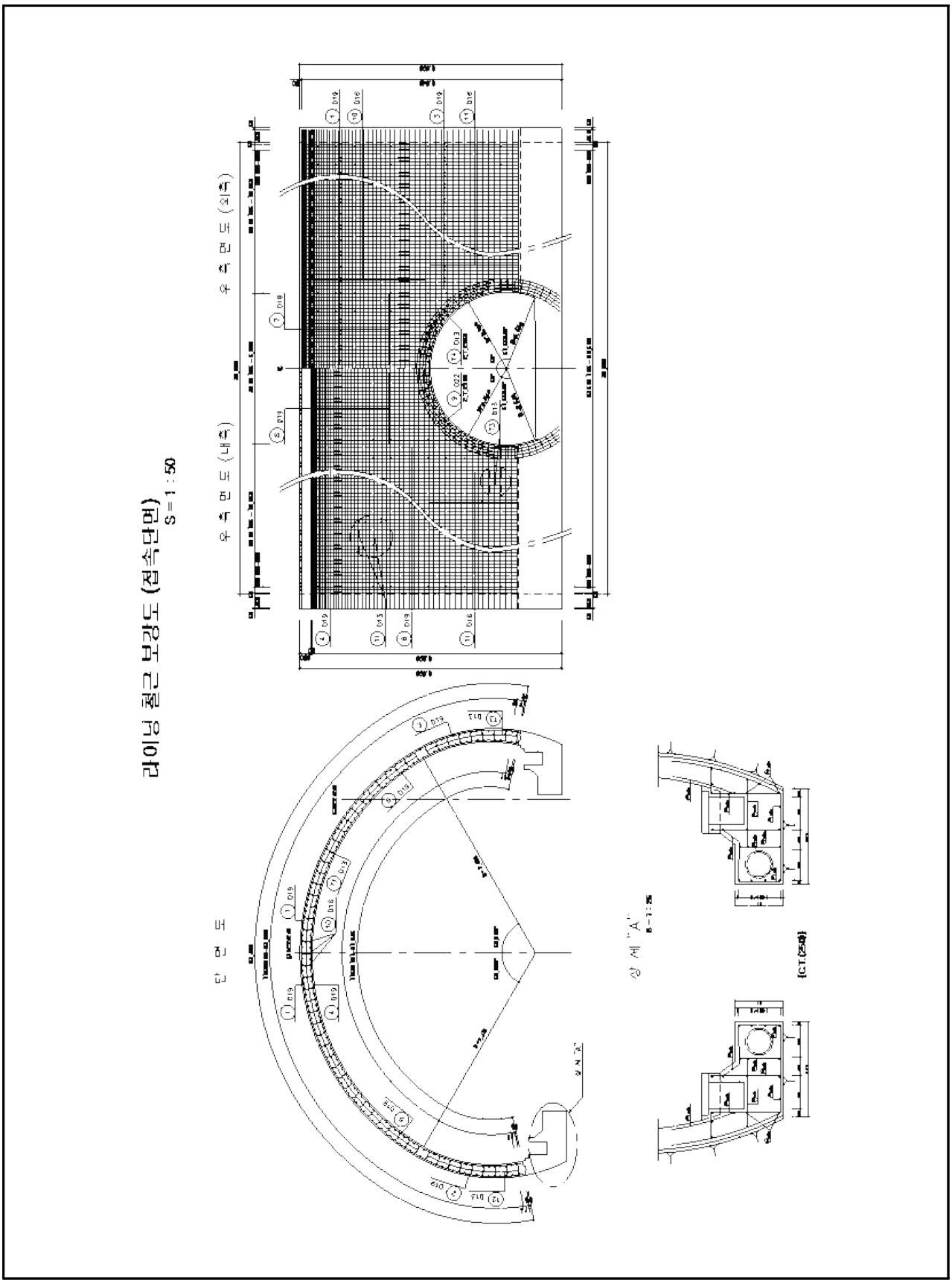


<표준 TYPE-6>

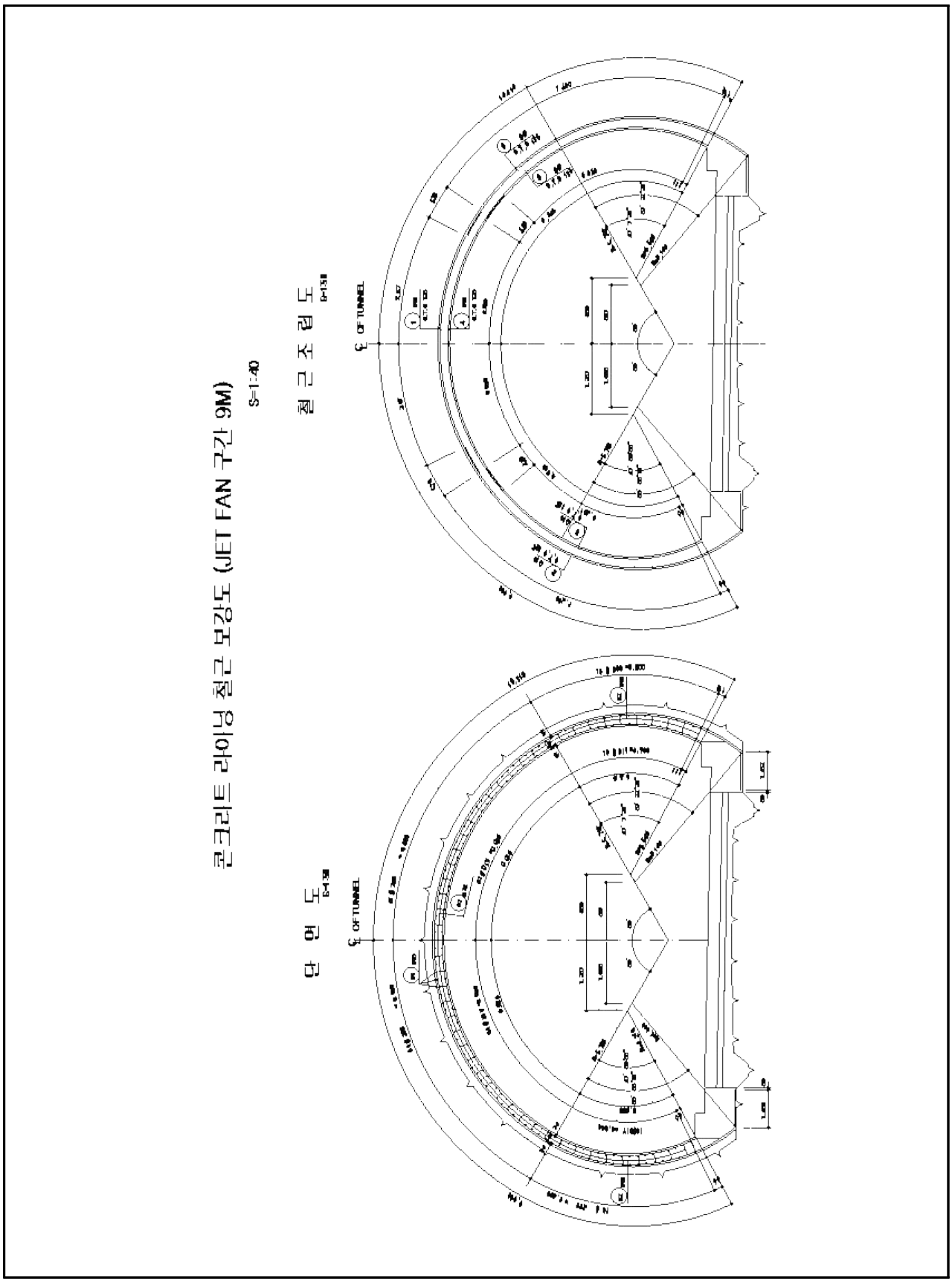
【그림 1.4.8】무척산터널 표준지보공도(3)



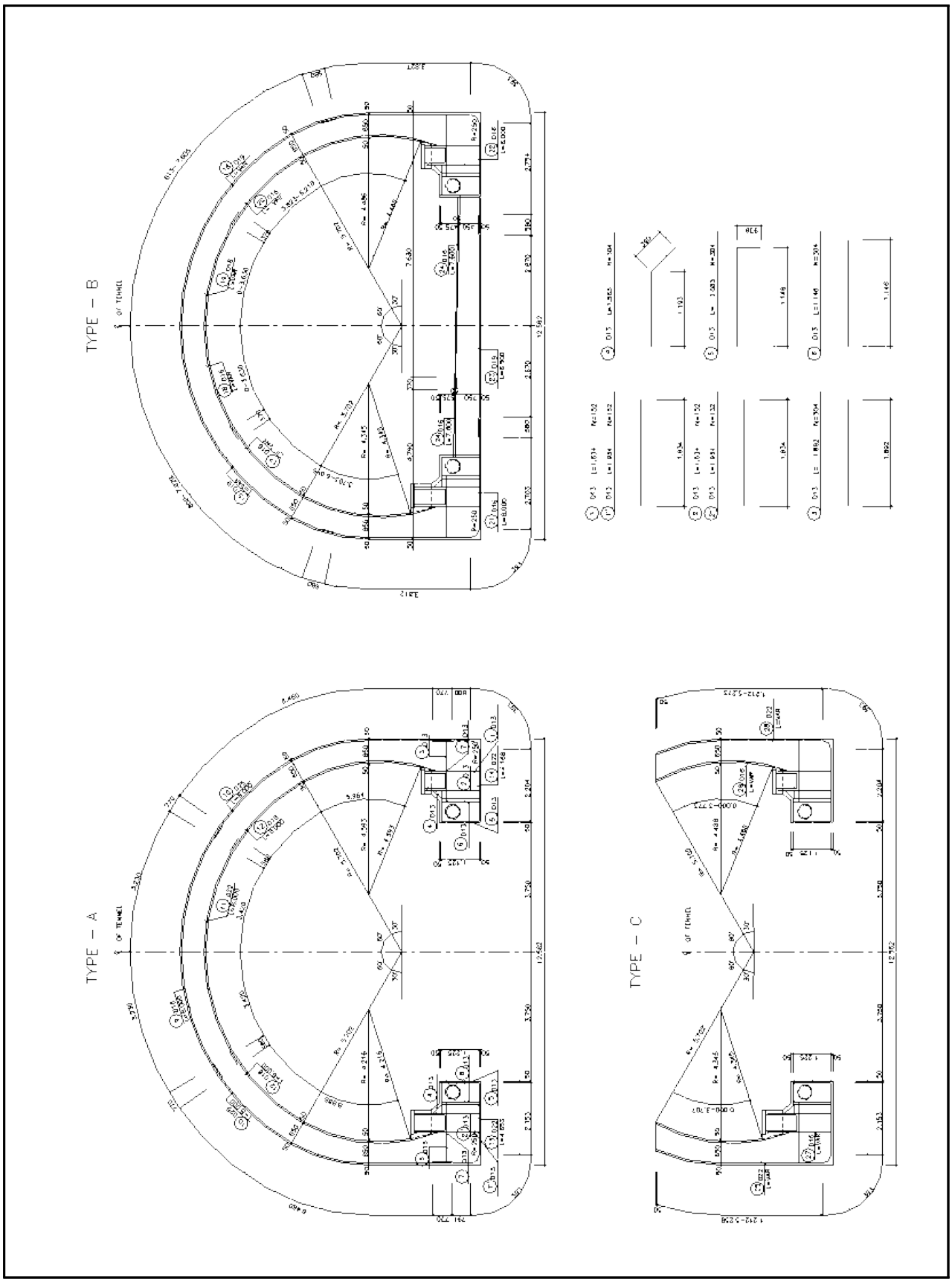
【그림 1.4.9】무척산터널 라이닝 철근 보강도(1)



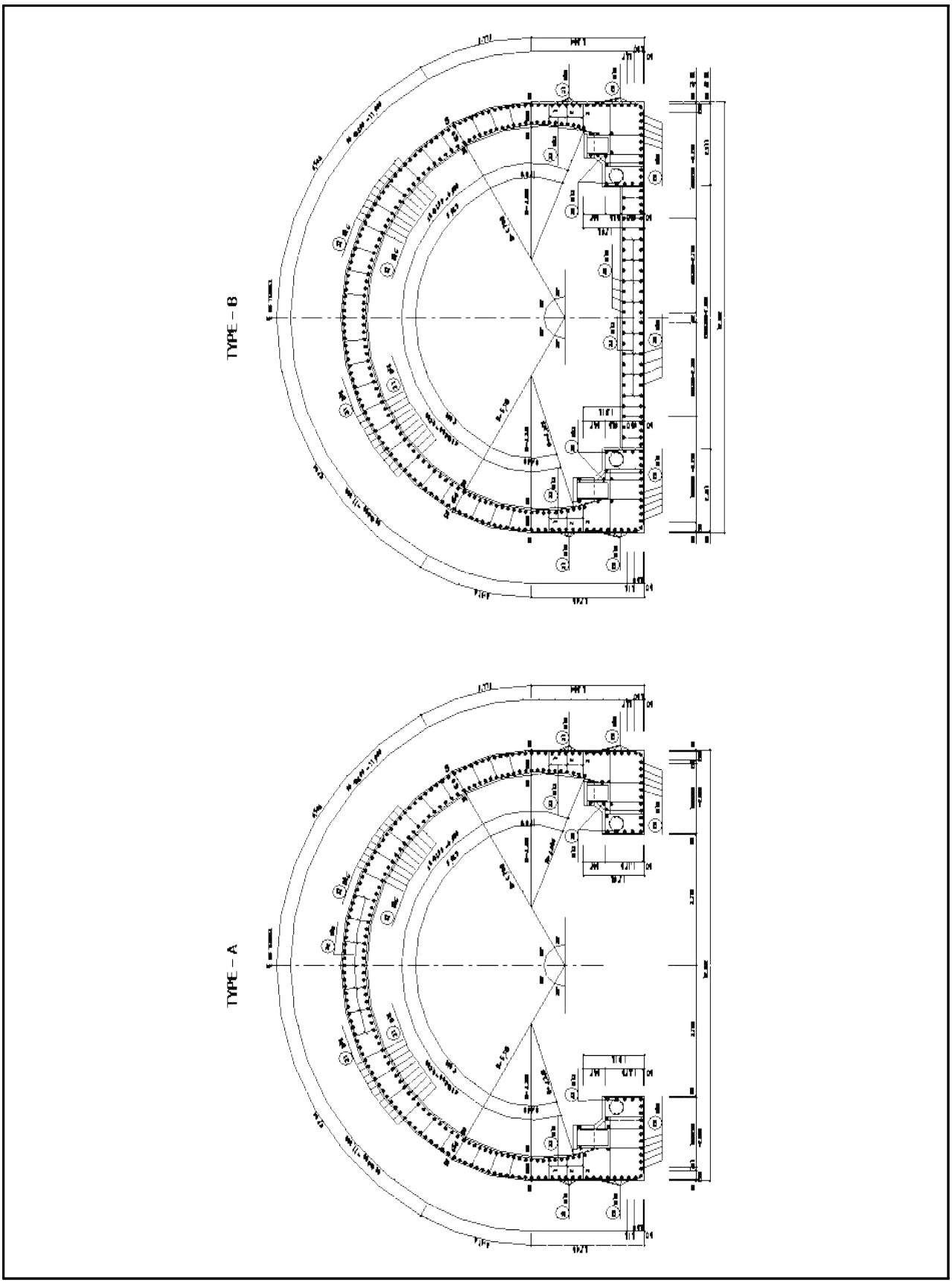
【그림 1.4.10】무척산터널 라이닝 철근 보강도(2)



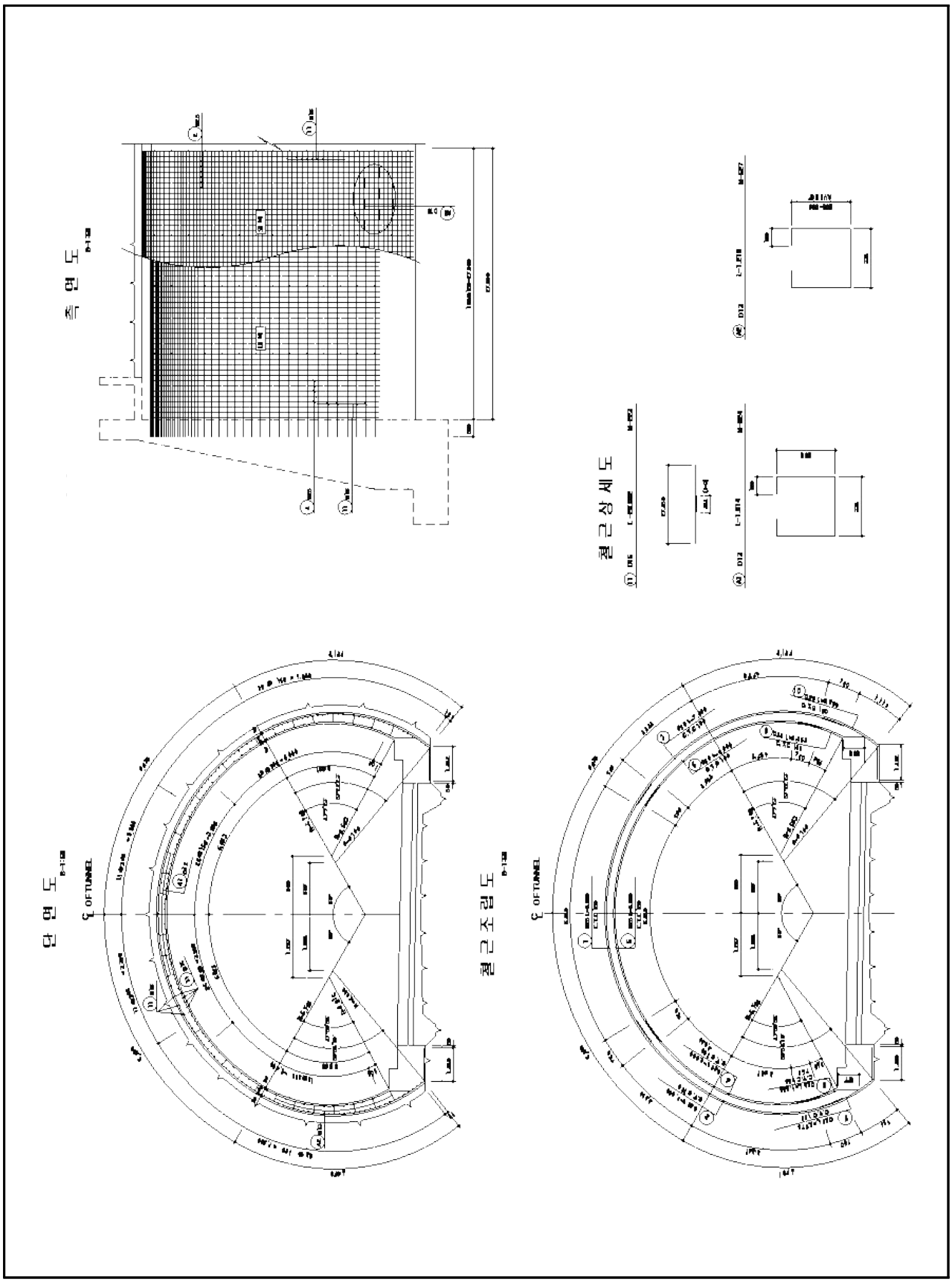
【그림 1.4.11】 무척산터널 라이닝 철근 보강도(JET FAN구간)



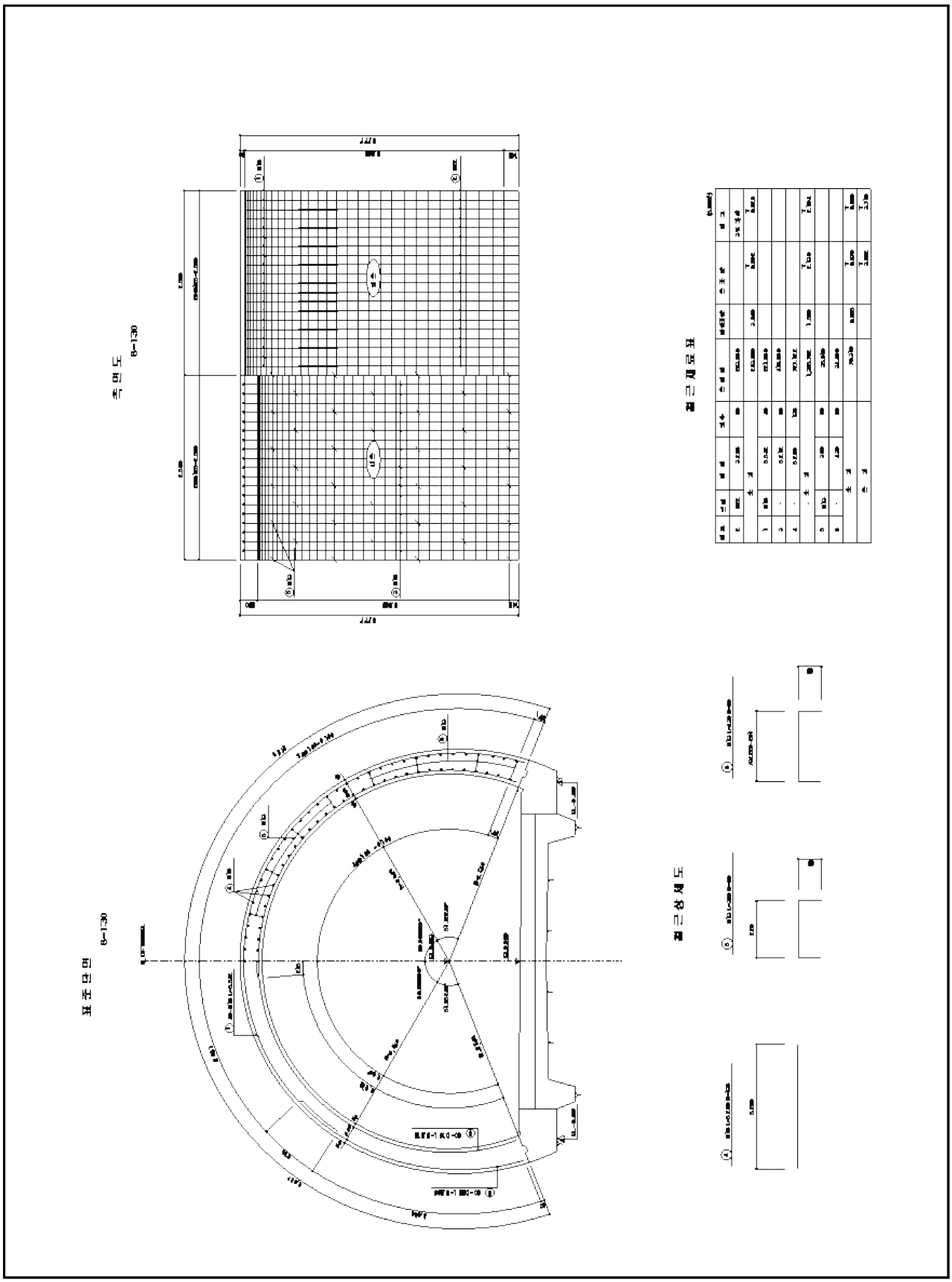
【그림 1.4.12】 무척산터널 시점부 라이닝 배근도(1)



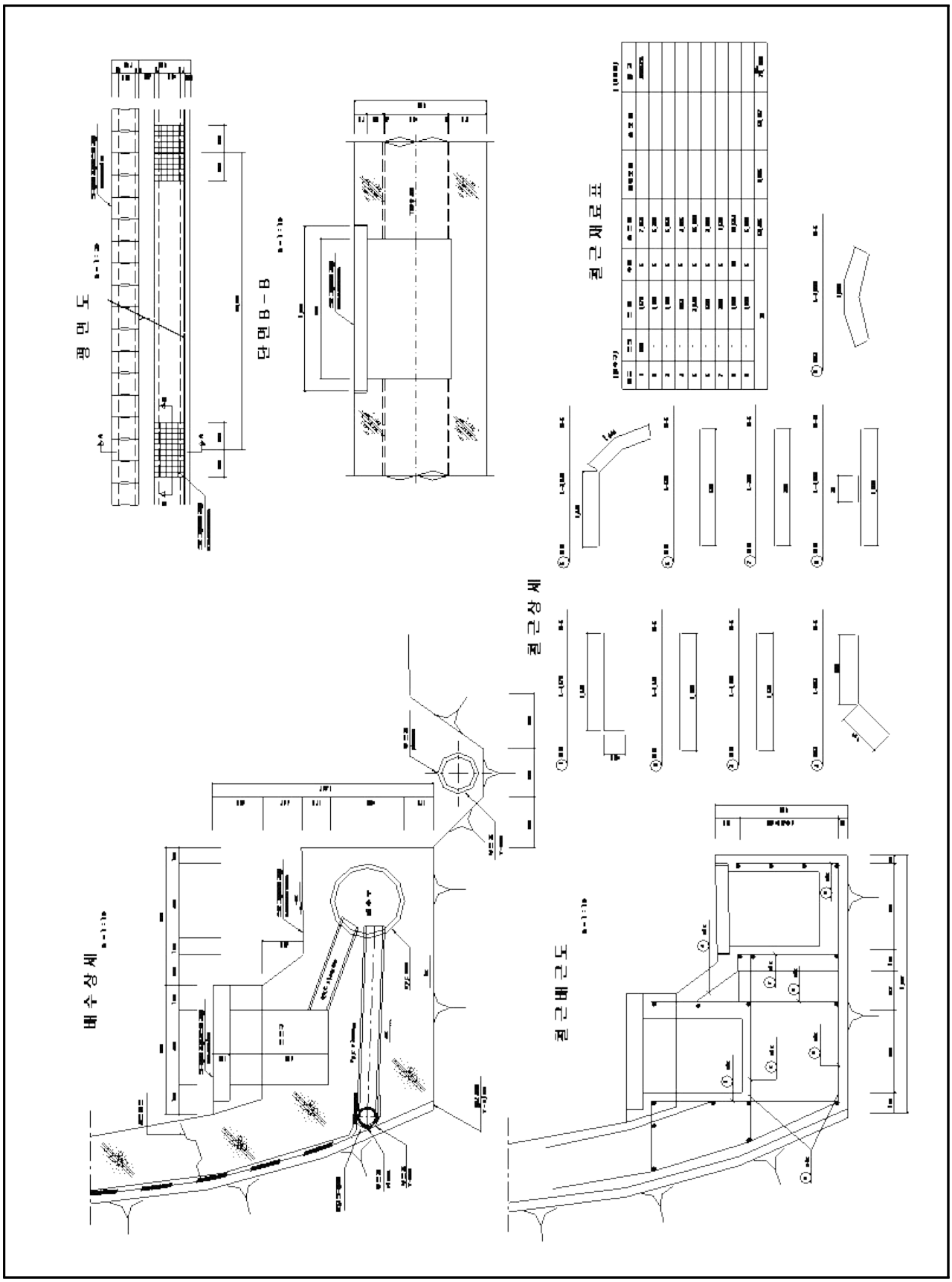
【그림 1.4.13】 무척산터널 시점부 라이닝 배근도(2)



【그림 1.4.14】 무척산터널 종점부 라이닝 배근도



【그림 1.4.15】무척산터널 피난연락갱 라이닝 배근도



【그림 1.4.16】무척산터널 공동구 및 배수상세도

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요 진단장비는 다음과 같다.

【표 1.5.1】주요 사용장비 및 시험기기 일반사항

장 비 명		규 격	용 도	활 용 방 법
반발경도 측 정 기	Schmidt hammer	NR형	CON'C 강도추정	약 3㎝간격에 20회 정도 타격하여 그 값의 평균치를 구함
초음파 측정기	Pundit	-	CON'C 강도추정 및 균열깊이 추정	송신자와 수신자를 통해 건전부와 불건전부의 초음파 진행 속도의 차이로 측정
철 근 탐지기	RC-Radar	NJJ-95B	철근배근 및 피복두께 측정	본체와 연결된 스케너를 통해 한쪽 방향으로 이동하여 철근의 위치를 액정화면을 통해 측정
탄산화 시험기		Conkit	CON'C 내부 탄산화 깊이측정	체크하고자 하는 면을 채취하여 페놀프탈레인 용액1%를 분사하여 대비되는 색깔로 PH양을 측정
GPR탐사기		Construction SCAN 1700	터널 라이닝 두께, 공동, 강지보공 유무 등 조사	지반탐사용 레이다를 이용한 터널 라이닝 배면 지반탐사
광파기		Sokkia Fx	터널 종·횡단측량	터널 포장부 종구배 및 라이닝 단면 측량
보조 기구	균열폭 측정기, 그라인더, 카메라, 배터리 충전기, 무전기, 줄자, 거리측정기(Disto), 사다리, 망치 등			

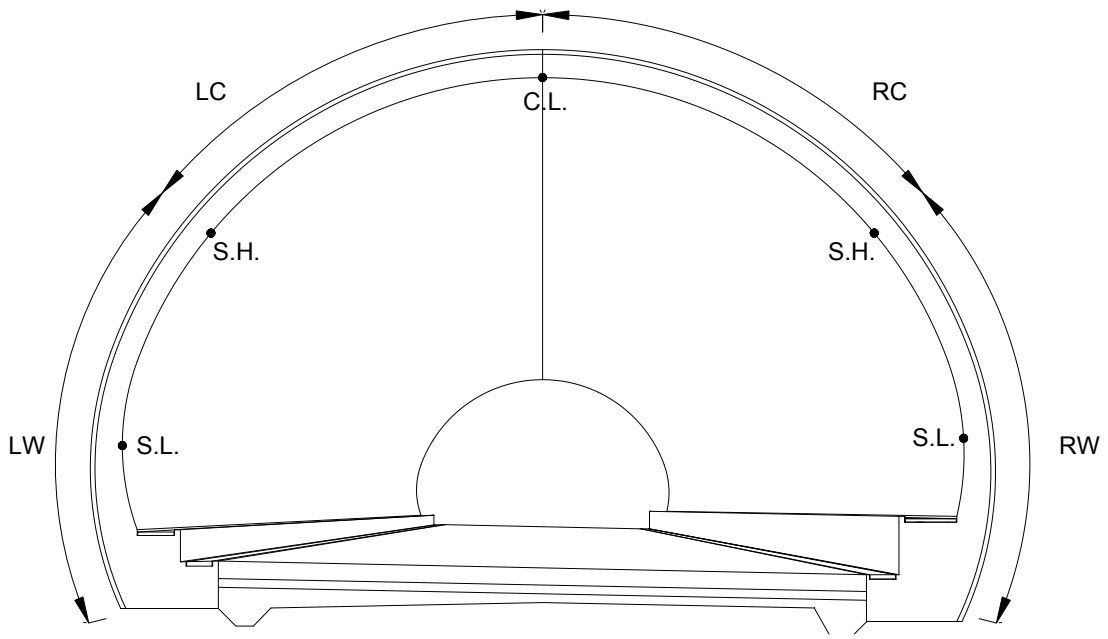
			
반발경도 측정기	초음파 측정기(Pundit)	철근 탐지기	탄산화 시험기
			
GPR탐사기	광파기	균열폭 현미경	카메라

1.6 기호의 정의

본 보고서의 터널 각 부재의 표현의 통일성을 기하기 위하여 【표 1.6.1】와 같이 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

【표 1.6.1】터널 기호의 정의

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



【그림 1.6.1】터널 기호의 정의

제 2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.3 기 점검 실시결과 요약

2.4 보수·보강 이력 및 용도변경

2.5 내진설계 및 보강 여부

2.6 자료분석 결과요약

제 2장 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

본 구조물에 관련된 자료는 주로 설계 및 시공과 관련된 건설당시 자료와 구조물 준공 이후의 유지관리와 관련된 자료 등이며, 관리주체의 유지관리자료 보유 현황은 다음 【표 2.1.1】과 같다.

【표 2.1.1】 자료수집 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
설계 도서	◇ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	○	◇ 대구-부산간 고속도로 민간투자 사업 준공도서 - 실시설계 종합보고서 - 토질 및 지반보고서 - 준공내역서, 수량산출서 - 구조 및 수리계산서 - 토질조사보고서 - 설계도면
	◇ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상·하부 구조물도, 빔 상세도, 신축이음·교량받침 상세도	○	
시설물 관 리 대 장	◇ 기본현황 ◇ 상세제원 ◇ 유지관리 이력	○	◇ 시설물 관리대장
시공 관련 자료	◇ 시공관련 자료 ◇ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조부위에 대한 계측 관련자료 ◇ 사고기록	○	◇ 시공기록 보고서 ◇ 품질시험 검사총괄표
안전점검 및 정밀안전진단 자료		○	◇ 시설물정보관리종합시스템 보수 및 점검이력
보수·보강 자료		○	

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.2.1 기본사항

가. 공사의 목적

신대구-부산간 고속도로는 기존의 경부 고속도로가 경주방향으로 우회함므로써 대구-부산간의 비합리적 수송체계 및 과중한 교통량으로 인한 막대한 경제적, 시간적 손실을 토래하고 있어 기존 경부고속도로의 보강기능과 분담효과를 기대함과 동시에 동남권 지역의 개발을 촉진하고 급증하는 물동량의 원활한 수송을 위하여 설계되었으며 무척산 터널은 신대구-부산간 구간의 제9공구에 해당된다.

나. 시설물의 설계 및 계획

1) 터널 단면

터널의 내공 단면은 도로폭원 및 건축한계를 만족시킬 뿐만 아니라 환기, 방재, 조명, 내장, 배수등 내부 설치공간을 확보하고 구조적으로 안정하며 경제적인 단면을 결정해야 한다.

금회 진단대상 구조물인 무척산터널의 단면은 터널 형상이 구조적으로 안정하며 양수압에도 유리하고 원형에 비해 경제성이 뛰어난 난형으로 설계 및 시공되었다.

2) 터널 내공단면 구성

① 도로폭원 및 건축한계

"도로의 구조·시설기준에 관한 규정"에 의하여 차도폭 2@3.6m=7.2m, 길어깨 1.0m를 확보하며 차량 통과 높이는 장래의 유지보수 및 시공오차를 감안하여 4.8m정도를 확보

② 측 대

차도와 동일 외측 평면에 일정한 폭으로 설치하며 자동차의 안전성 등을 고려하여 250mm 확보

③ 수압처리방식

하부 Invert는 지반조건에 따라 적용시키며 배수식 부분방수형식으로 수압처리

④ 배수공

- 터널의 아치부, 측벽부에 설치된 시트 방수재의 배면을 따라 유입된 침투수는 측벽하단 유공관(PVC 유공관 ϕ100mm)을 설치하여 바닥 슬래브 하면 유공관으로 유도

- 터널내 세정오수 및 비상시 사용되는 소화수, 기타 수처리는 일정한 횡단구배에 의해 배수구(수로관 ϕ300mm)로 유도

- 바닥 슬래브 하면에 발생되는 양수압을 배제하기 위해 유공관 ϕ200mm 설치

⑤ 환기설비

환기방식은 종류식 환기방식을 적용하며 Jet Fan은 차도부 건축한계상부에 설치

3) 터널 환기 계획

【표 2.2.1】 터널 환기 계획-무척산터널

대구방향-기계환기(Jet Fan 6대)	부산방향-기계환기(Jet Fan 6대)
◇ CO환기량은 지체시(10km/h)이며 허용농도는 100ppm임 ◇ NOx환기량은 원활교통시 (80km/h)이며 허용농도는 25ppm임 ◇ 소요환기량 보다 자연환기량이 크면 기계환기가 필요없음	

4) 부대시설 설치계획

① 비상주차대

터널내에서 고장 혹은 사고를 일으킨 차량이 다른사고를 유발하거나 다른차량의 주행을 방해하지 않도록 일시 주차시키기 위한 시설인 비상주차대는 단면을 확폭하여 피난 연결통로를 설치하는 경우에 비해 구조적, 경제적으로 많은 잇점이 확보되어 700～800m 미만으로 설치를 계획하였으며 본 터널에서는 터널길이가 최대 2,055m로 2개소가 설치되어 있다.

② 피난연결통로

피난 연결통로는 장대터널에서 화재 또는 긴급상황 발생시 매연 등으로 인한 피해로부터 운전자와 승객을 우선 피난시키기 위한 시설로 확산속도와 대피속도를 고려하여 적정간격(750m미만)으로 설치하는 시설로 비상주차대와 병용하여 설치하였으며 연결통로 설치에 의한 문제점 및 대책은 다음과 같다.

【표 2.2.2】 피난연결통로 설치에 의한 문제점 및 대책

구 분	내 용
문제점	◇ 접합부에서의 부등침하로 인한 응력집중으로 내부라이닝에 균열이 발생할 수 있다. ◇ 접합부가 손상을 입을 경우 방수막의 손상을 초래하게 된다.
대 책	◇ 접속부의 내부 라이닝 구조물은 이음부를 설치하여 분리구조로 한다. - 부등침하와 방수에 대한 이음부의 적절한 기능 확보와 시공성을 고려하여 이음부를 처리한다. ◇ 이음부는 강성의 기포성 물질 또는 이와 유사한 물질로 충전한다

③ 공동구 및 배수시설

㉠ 공동구

원형관 형태는 매설작업의 곤란, 배관 및 교체곤란 등으로 검토대상에서 제외하고 종래의 4각형 단면은 추가설비 설치시 용량이 부족하게 될 우려가 있으므로 전기 및 기계설비 용량을 충분히 고려하여 0.45×0.60로 설치하였으며, 보도로 사용할 수 있도록 하였다.

㉡ 배수구

바닥 슬래브는 편구배 2%의 콘크리트 포장이며 수압이 발생되지 않도록 배수설비로서 양측에 맹암거 및 유공관(Φ200)을 설치하였으며, 터널의 내구성에 가장 커다란 영향을 미치는 측벽 배면의 지하수는 측벽하단 유공관(PVC 유공관 Φ100㎜)을 통해 측구 하면 배수관 (Φ300)으로 유도하여 배수토록 하였다.

6) 터널 굴착공법

본 터널은 암석의 일축 압축강도가 1,690～2,350kg/㎠로 TBM 적용이 가능한 암반조건이나 시공시 굴착단면의 형상, 구배, 곡률반경에 제약을 받고 경제성이 저하되어 TBM보다 경재적이며 지보재 적용으로 단면 변화와 변형단면에 대처가 양호하고 안정성을 확보할 수 있는 NATM공법을 채택하여 시공하였다

다. 터널의 안전성 검토

1) 개요

시설물의 안전성평가의 목적은 시설물이 제 기능 및 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 운영상의 안전성 확보여부를 평가하는데 있으므로 현장조사부터 시설물의 현황과 상태 및 특성을 충분히 파악하여 제반 문제점을 도출하고 기초자료 분석 및 구조검토·해석 등에 의해 문제점에 대한 원인을 규명함과 더불어 안전성 여부를 판단하여야 한다.

본 과업에서는 NATM 터널구간에 대해서 안전성 검토를 실시하였으며, 안전성 검토시 지형 및 지질조건, 지보패턴 등을 고려하여 가장 불리한 단면에 대해 안전성 검토를 수행하였다.

안전성 평가를 위하여 기본과업 이외의 필요한 계측, 측정 조사 및 시험 등의 선택 과업은 시설물 종류 및 구조적 특성에 따라 관리주체 감독자와 협의하여야 하며, 이를 위해서는 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료의 검토, 기록을 통한 운영 이력의 분석, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측・측정・조사・시험 등을 통하여 충분한 기초자료를 확보하는 것이 중요하다. 안전성평가 시 검토할 사항은 다음과 같다.

-재료시험 결과 분석, 지질조사 등의 결과 분석
-시설물의 변형/변위 및 거동 등의 측정결과 분석
-구조물의 구조검토·해석결과 분석
-기타 안전성평가를 위하여 필요한 사항

2) 안전성평가 방법

일반적으로 터널 해석에 적용되는 수치해석 기법은 크게 연속체 모델, 불연속체 모델, 지반반력 모델 등 세가지로 나누어 지는데, 보요소법, 유한요소법, 유한 차분법, 경계요소법, 개별요소법, 혼합법 등이 이러한 범주에 든다.

본 설계에서는 지반을 각 절점에서 연결된 요소로서 이상화된 연속체로 간주한다는 점에서 유한요소법과 유사하나 미지수를 구하기 위해 채택하는 방법에서 차이가 있는 유한차분법을 이용하여 과업대상 구간에 위치한 무척산터널의 단면이 해석 되었다.

지중 구조물의 안전성 평가방법은 일반적으로 주변지반의 응력상태를 고려한 해석적 방법에 의해 이루어진다. 해석적 방법에 의해 구조물의 안전성을 평가하는 경우 현장조사 및 수집자료에 의해 얻어진 구조물의 치수, 시공상세도, 재료의 성질 및 구조물의 결함, 주변지반조건 등을 종합하여 현 상태로 해석해야만 올바른 평가를 기대할 수 있다. 또한, 『콘크리트 구조기준』, 『터널표준시방서』 등에 규정된 설계 및 안전에 관한 제반기준을 적용하고 공인된 신뢰도가 있는 해석방법에 의해 평가되어야 한다.

구조물의 해석시 안전 여유율이 고려되어 있으므로 현재상태의 구조물에 대한 안전해석 결과가 『콘크리트 구조기준』의 안전도 기준에 미흡하다고 해서 구조물이 불안전하다는 것이 아니라 단지 구조물의 안전 여유율이 적다는 것을 의미한다. 따라서 수치해석에 의한 구조물의 안전성 평가는 현재상태의 구조물이 얼마나 안전 여유율을 확보하고 있느냐의 정도에 따라 평가하는 것이 합리적이라 할 수 있다.

3) 터널 현황 및 지반물성치 결정

① 터널위치

【표 2.2.3】 터널위치

구 분	위 치	갱문현황
대구방향	Sta. 24k+637 ~ Sta. 26k+677	입구부:벨마우스, 출구부:면벽식
부산방향	Sta. 24k+597 ~ Sta. 26k+652	입구부:면벽식, 출구부:벨마우스

② 지 형

본 조사지역은 행정구역상 경상남도 밀양군 삼랑진읍, 김해군 생림면 및 상동면 일대로서

태백산맥의 남단부에 해당된다.

본 조사지역의 지형은 해발 고도가 다소 높고 산사면의 경사가 매우 가파른 편이고 이를 암석분포에 관련지어 볼 때 일반적으로 화학적 풍화에 약한 심성암류의 분포지에 비하여 화산암류의 분포지가 험준한 편이며, 화산암류중에서도 본 조사지역에 주로 분포하는 유문암질 암류가 분포하는 지형이 더욱 험준하다.

산계는 능선의 방향은 규칙성이 없으나, 대체로 크게 보아 북북동 방향으로 발달한 향로봉(△727.0m), 금오산(△755.0m), 천태산(△630.9m) 및 무절산을 잇는 주능선이 있고 만어산에서 남서쪽이 음달산 및 매봉산으로 연결되는 환상 능선도 형성되어 있으며, 정규심칙윤회과정으로 볼 때 장년기말에서 노년기초에 해당하는 지형이다.

수계는 주 수류인 낙동강으로 아수지상 및 수지상의 수계망을 이루며 지수류인 밀양강으로 유입되어 주수류로 합류하나, 낙동강 유역에 발달한 여러 하천들은 직접 낙동강에 유입되고 있다.

그리고 주 수류인 낙동강은 폭이 평균 약 1km이고 하상의 표고가 해발 3m 내외이고 유속이 매우 느려서 지류인 밀양강과 만나는 지점에 다소 넓은 충적평야를 형성하여 농경지로 이용되고 있다.

③ 지층

본 조사의 지질은 중생대 백악기 경상누층군 유천층군에 속하는 주사산 안산암질 암류를 같은 층군의 운문사유문암질 암류들이 부분적으로 부정합으로 피복하였으며, 이들을 불국사화강암류들이 관입하였고, 이를 제 4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

이들을 시대순으로 열거하면 주사산안산암질암류인 팔용산 응회암, 비반상안산암, 안산암질라필리응회암, 밀양안산암, 정각산층 및 범도리안산암을 지역에 따라 부정합으로 운문사유문암질암류인 응회각역암, 석영안산암질회류응회암, 유문암질강하응회암, 유문암질회류응회암, 화제리층, 강하응회암, 유문석영안산암질회류응회암 및 유문암이 피복하고 있고, 이들 불국사화강암류인 세립화강암섬록암, 각섬석흑운모화강암, 흑운모화강암 및 산성 암맥류가 관입하였으며 이를 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

본 지역은 하행기점 6km+248~8km+260의(총길이 2.012km)부근에 위치하는 구간으로서 N66~78W 방향을 향하며, 터널토피의 최대 두께는 약 304m이다.

- 붕적층(Colluvium)

본 지층은 사면의 활동, 붕괴 및 기타 요인에 의하여 형성된 층으로서 조사지역 전역에 0.5~2.4m 내외의 두께로 분포하고 있으며, 대체로 실트 및 세립 내지 조립의 모래섞인 자갈, 소량의 자갈 및 세립 내지 조립의 모래섞인 실트로 구성되어 통일분류법에 의한 흙의 분류는 GP, GM 및 ML로 분류되고 지층의 상대밀도는 느슨 내지 매우 조밀한 상태이다.

-풍화토(Residual Soil)층

본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암이 풍화되어 원위치에 잔류되어 잇는 지층으로서

시추공 No. TB-9의 위치에 4.8m 정도의 두께로 분포되어 있으며, 대체로 암편 및 실트섞인 세립 내지 조립의 모래로 구성되어 통일분류법에 의한 분류는 SM으로 분류되고 지층의 상대밀도는 매우 조밀한 상태이다.

- 연암(Soft Rock)층

본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암의 부분적으로 풍화되어 형성된 지층으로서 시추공 No. TB-9, 10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 0.5~5.3m 내외의 심도에서 확인되고 있으며, 시추작업시 회수된 코아회수율은 10~100% 정도로 저조한 상태이고 R.Q.D는 0~21% 정도이다.

- 경암(Hard Rock)층

본 지층은 시추공 No. TB-10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 1.4~9.0m 내외의 심도에서 확인되고 있으며 시추작업시 회수된 코아회수율은 41~100% 정도이며 R.Q.D는 0%~100%이다.

④ 지반 물성치

본 과업에 사용된 지반 물성치는 기존 설계 자료인『부산~대구간 고속도로 건설공사 터널보고서(제9공구:삼랑진~상동)』,『부산~대구간 고속도로 건설공사 토질조사보고서(제9공구:삼랑진~상동)』을 적용하였다.

【표 2.2.4】단면해석에 활용된 지반 물성치

구분	단위중량 (t/m^3)		내부마찰각 (°)		점착력 (t/m^2)		탄성계수 (t/m^2)		포아송비	
	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2
토사	1.9	1.9	30	30	0.0	0.0	4,000	4,000	0.31	0.31
연암	2.2	2.2	38	38	10.0	10.0	80,000	100,000	0.28	0.27
경암	2.5	2.5	43	45	30.0	30.0	300,000	630,000	0.25	0.23

⑤ 지보재 물성치

본 해석시 터널의 지보재는 숏크리트와 록보트만을 고려하였으며 이때 숏크리트와 록볼트의 물성치는 다음과 같이 적용하였다.

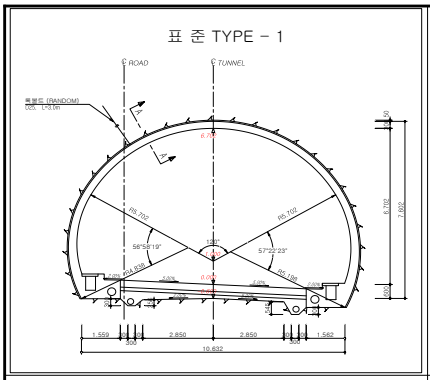
【표 2.2.5】단면해석에 활용된 지보재 물성치

구 분	단위중량 (kN/m^3)	탄성계수 (MPa)	압축강도 (MPa)	비 고
숏크리트	24.0	5,000~15,000	10.0~21.0	-
록볼트	78.5	210,000	-	-

⑤ 표준단면별 지보공패턴

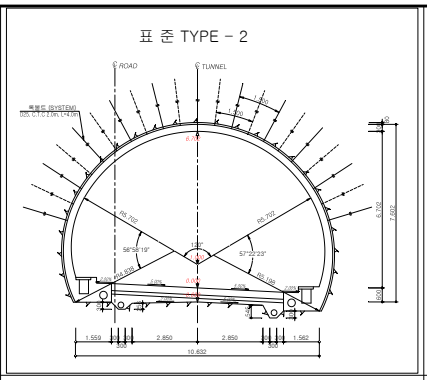
【표 2.2.6】지보패턴

형 식		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	TYPE-6
1회굴진거리		3.0m	3.0m	2.0m	상반:1.5m 하반:3.0m	상반:1.2m 하반:1.2m	상반:1.2m 하반:1.2m
굴착방법		전단면	전단면	전단면	상/하 반단면	상/하 반단면	상/하 반단면
숏크리트		5.0㎝	5.0㎝	8.0㎝	12.0㎝	16.0㎝	16.0㎝
록볼트	길이	3.0m	3.0m	4.0m	4.0m	4.0m	4.0m
	간격	RANDOM	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.5m 횡방향:1.5m	종방향:1.2m 횡방향:1.2m	종방향:1.2m 횡방향:1.5m
강지보공	규격	-	-	-	100×100×6×8	100×100×6×8	100×100×6×8
	간격	-	-	-	1.5	1.2	0.6
내부라이닝	두께	30㎝	30㎝	30㎝	30㎝	30㎝	30㎝ (철근보강)
적용암질		경암	보통암	연암	풍화암	풍화암(토)	풍화암(토)



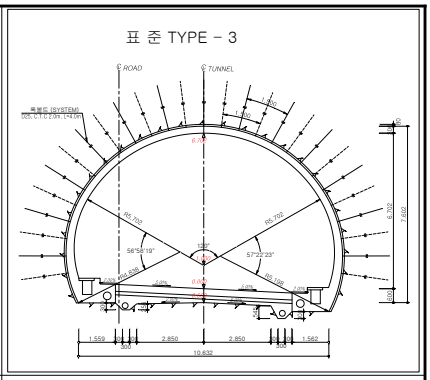
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)

경암	숏크리트 : 5㎝



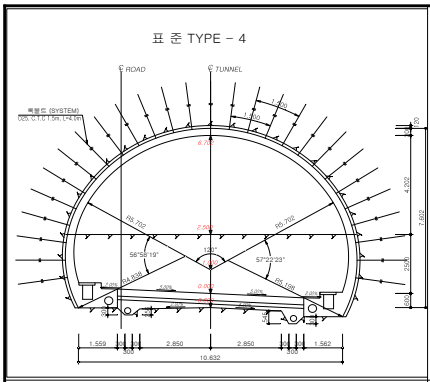
지보패턴 (TYPE-Ⅱ)

보통암	숏크리트 : 5㎝



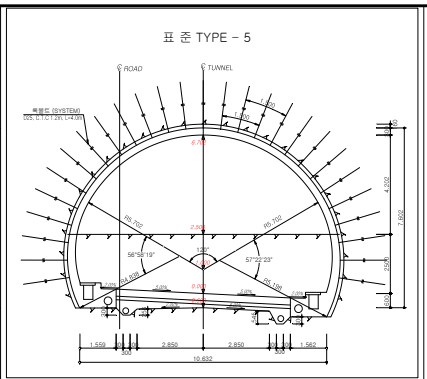
지보패턴 (TYPE-Ⅲ)

연암	숏크리트 : 8㎝



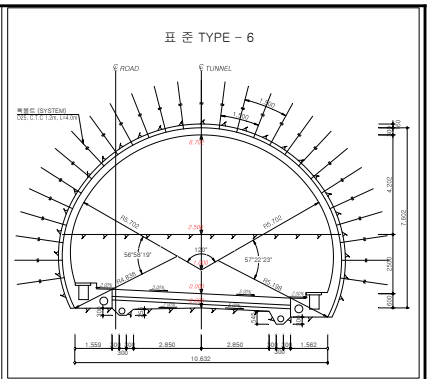
지보패턴 (TYPE-Ⅳ)

풍화암	숏크리트 : 12㎝



지보패턴 (TYPE-Ⅴ)

품화암(토)	숏크리트 : 16㎝



지보패턴 (TYPE-Ⅵ)

갱구부	숏크리트 : 16㎝

⑥ 해석단면의 선정

본 과업의 해석위치는 시추조사 및 실내시험 결과를 바탕으로 지형이나 지질이 불리하다고 판단되는 지점, 토피가 낮고 갱문 설치로 인하여 구조적으로 지반의 이완이 극대화 되는 지점, 최대 편토압이 예상되거나 지상에 중요 구조물이 위치하는 경우를 고려하여 위치를 선정하였다.

【표 2.2.7】 해석단면 위치

구 분	해석위치	지보패턴	굴착패턴	암종	상재토피고(m)	비 고
무척산 터널	Sta. 24k+682	Type-Ⅵ	상하반단면	경암	10.09	터널 시점부
	Sta. 26k+622	Type-Ⅵ	상하반단면	경암	10.23	터널 종점부

⑦ 해석단면의 선정

본 과업의 해석위치는 시추조사 및 실내시험 결과를 바탕으로 지형이나 지질이 불리하다고 판단되는 지점, 토피가 낮고 갱문 설치로 인하여 구조적으로 지반의 이완이 극대화 되는 지점, 최대 편토압이 예상되거나 지상에 중요 구조물이 위치하는 경우를 고려하여 위치를 선정하였다.

⑧ 해석영역 및 경계조건

본 과업의 해석모델은 지반의 경우 평면변형율 조건하에서 Mohr-Coulomb 탄소성모델을 적용하였으며, 경계조건으로는 해석영역의 좌·우측은 Roller로 하여 X축의 변위는 고정하고 Y축 변위는 허용하였으며, 하부는 Hinge로 하여 X축, Y축의 변위를 고정하고 회전은 허용하여 시공단계에 다른 변위 및 지보재 응력을 검토 할 수 있도록 하였다.

기초자료 검토결과 최대 측압계수(KO=1.37)를 고려하여 해석단면별 측압계수 0.5, 1.0, 1.5를 적용하여 CASE별로 해석하였다.

⑨ 단면해석 결과

- 무척산 터널 시점부(STA. 24k+682)의 수치해석 결과를 종합해 보면 터널 천정부 최대 변위는 KO=1.5일 때 -1.670㎜로 나타났으며, 수평변위는 KO=1.5일 때 2.216㎜로 나타났다. Shotcrete 응력은 KO=1.5 일 때 최대 4.764MPa로서 허용압축응력 8.4MPa이내이며, Rock Bolt 축력은 최대 축력은 KO=0.5 일 때 26.52kN으로 허용 축력 88.70kN 이내로 안정한 것으로 분석 되었다.
- 무척산 터널 종점부(STA. 26+622)의 수치해석 결과를 종합해 보면 터널 천정부 최대 변위는 KO=0.5일 때 -2.344㎜로 나타났으며, 수평변위는 KO=1.5일 때 2.240㎜로 나타났다. Shotcrete 응력은 KO=1.5 일 때 최대 5.354MPa로서 허용압축응력 8.4MPa이내이며, Rock Bolt 축력은 최대 축력은 KO=0.5 일 때 36.32kN으로 허용 축력 88.70kN 이내로 안정한 것으로 분석 되었다.

라. 내부 라이닝

1) 라이닝 역할

라이닝은 터널 굴착후 변형이 수렴된 뒤에 시공되므로 기본적으로 외력을 받지 않는 구조물이나 장기적으로는 굴착면 주변의 이완하중을 받게 된다. 그러므로 라이닝은 터널의 구조상 중요한 요소로 토압, 수압 등의 하중에 장기적으로 견디어내고 균열, 변형, 파괴 등을 일으키지 않으며 내구성이외에 수밀성과 평탄성 등의 성질을 갖고 터널로서의 필요한 공간과 기능을 원활하게 유지하여야 한다.

특히, NATM에 의한 터널굴착시에도 라이닝에 대해서는 다음과 같은 역할들을 생각 할 수가 있다.

① 라이닝은 터널의 변형이 수렴된 뒤에 시공되므로, 기본적으로 라이닝에는 외력이 작용하지 않는다.

② 록 볼트는 동상 부식에 대한 방수처리가 되어 있지 않으므로, 최종적으로 하중을 지보하는 것은 숏크리트와 라이닝이므로, 록 볼트의 부식문제나 지반의 불균일성, 숏크리트 품질의 불균질 등의 불완전요소를 고려하여 라이닝의 안전율의 증가로서 평가한다.

③ 라이닝 후 발생하는 하중에 대한 지보는 라이닝 설치후에 새로이 발생하는 수압, 지반의 크리프 변형, 팽창성 토압 또는 토피가 낮은 경우에는 나중에 작용하는 상재하중을 라이닝에 의해 지보한다고 볼 수 있다.

④ 전하중에 대한 지보는 재래 공법에서의 사고방식과 마찬가지로 숏크리트, 록볼트를 일차적인 지보로 생각하고 최종적으로 라이닝이 전하중을 지보한다고 볼 수 있다.

이상과 같이 설계에서 라이닝콘크리트의 역할을 여러 가지 의미로 생각하고 있으나 본 무척산터널은 ①, ②, ③의 세 가지를 고려하여 적용하였다.

2) 타설시기 및 두께

타설시기는 변위가 수렴된 후가 가장 좋으며, 두께는 휨 모멘트를 작게 하기 위하여 얇게 해야 한다. 실제면에서도 변위가 수렴된 후에 타설하는 것이므로 외국에서 채용하고 있는 최소 두께인 30cm를 채용하였다.

마. 특이사항

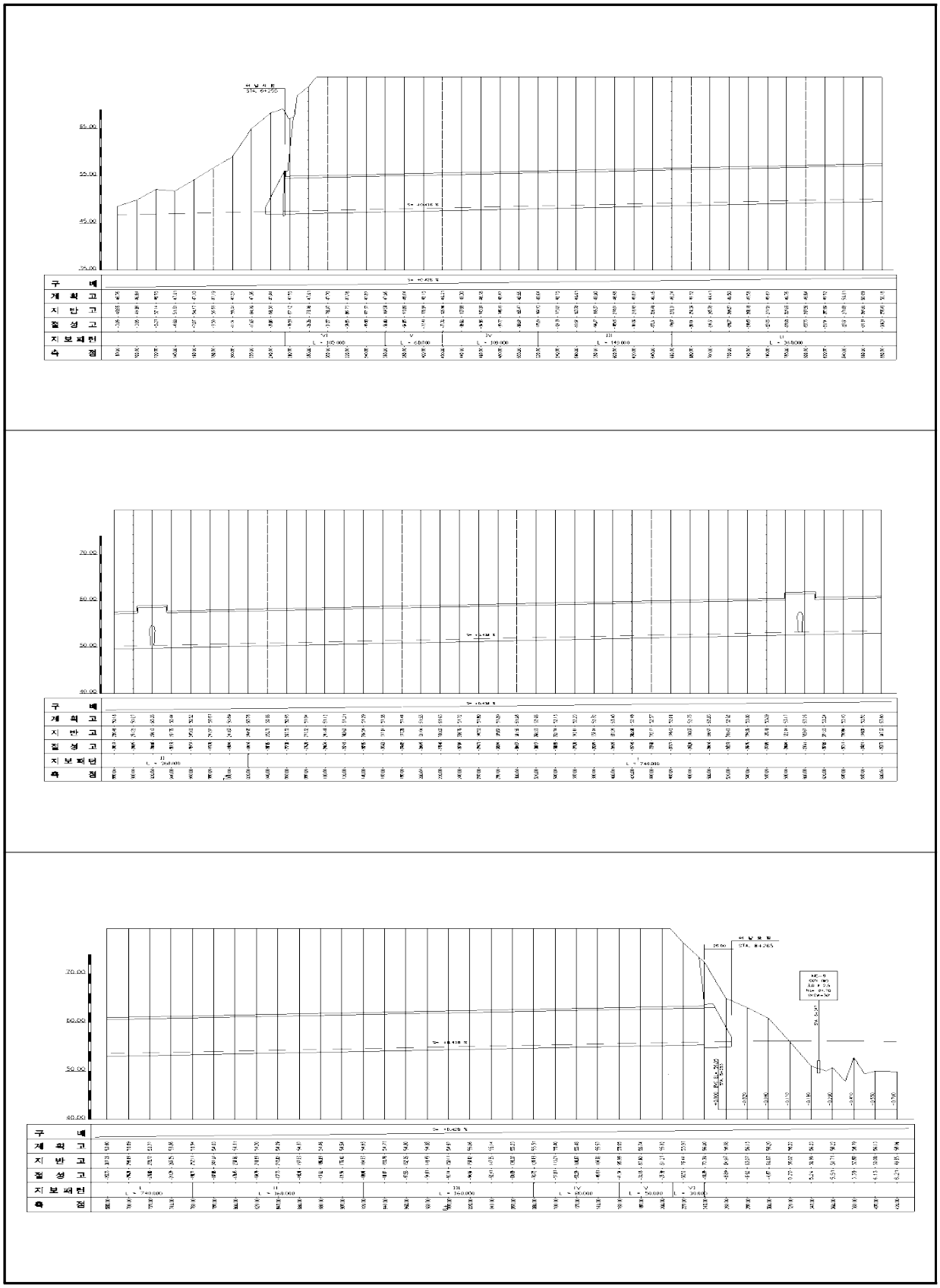
본 구간은 약 300m 내외의 고도차를 나타내며 지형에 의한 경사는 1~35° 이다.

무천산터널 구간의 지질은 중생대 백악기의 유문암질응회암 및 이를 관입하는 안산암질암으로 구성되며, 유문암질응회암이 기반암을 이루고 있는 지역으로 무척산 정산부근 에서는 안산암류가 분출되어 있어 경사 1° 내외의 완만한 지형을 형성하며 이는 안산암류가 비교적 풍화작용에 강한 것을 의미한다.

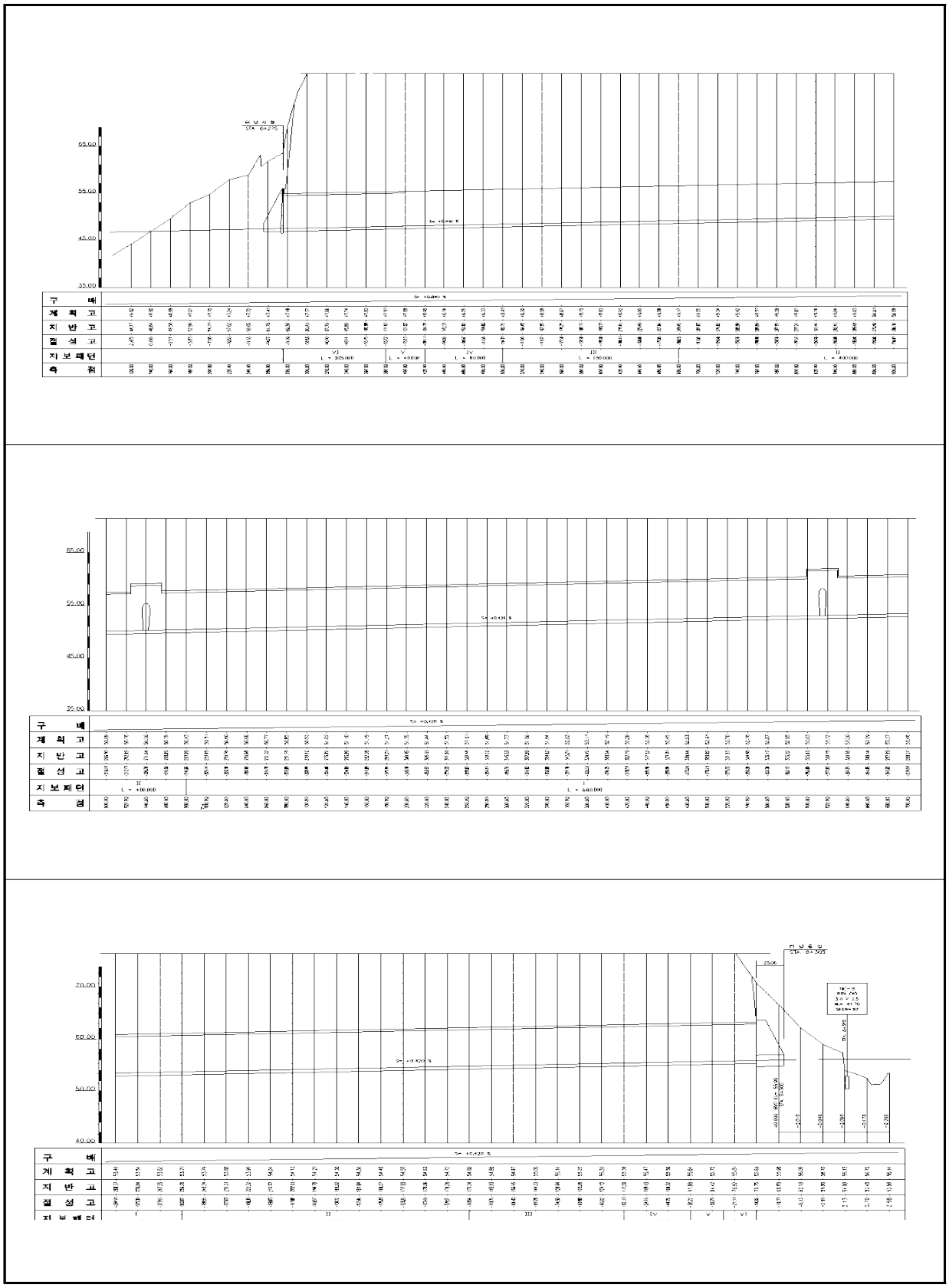
터널 시점 및 종점에서 실시한 시추조사결과 붕적층은 0.5~1.5m, 연암은 0.8~2.5m의 층후를 가지고 분포하고 있다. 탄성파 속도분포에 의한 지층분포를 보면 제1층의 속도는 530~1,110m/sec로 이는 표토(붕적층 포함), 풍화대, 연암 및 경암 상부파쇄대에 해당하는 것으로 판단되며, 이층의 두께는 0~20m 정도로 본 터널의 전구간에 걸쳐서 나타나나 부분적으로는 암반이 지표에 노출되기도 한다.

따라서 본 지역에서는 탐사결과 전체적으로 볼 때 터널 시점부는 경암이 지표하 12m 이내에서 종점부는 지표하 1.5~3.0m 내외에서 경암이 분포하는 것으로 나타났다.

또한, 본 지역에서의 기점으로부터 26km+432~26km+452까지, 26km+062~26km+092까지의 지역에서 약대(WEAK ZONE)가 나타났으며, 이는 소규모의 파쇄대에 의한 것으로 판단되어 터널 굴착시 주의가 요망된다.



【그림 2.2.1】 무척산 터널 현황(대구)



【그림 2.2.2】 무척산 터널 현황(부산)

2.3 기 점검 실시결과 요약

본 터널은 2005년 10월 실시한 초기점검을 시작으로 2015년 3월 정기점검(상반기)까지 공용기간 중 초기점검 1회, 정밀점검 4회, 정기점검 14회 등을 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음과 같다.

2.3.1 기 점검 이력

【표 2.3.1】 무척산터널(대구) 기 점검 이력

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
1	초기점검	'05.10.28 ~ '06.04.25	㈜아워브레인	●라이닝 균열 주입보수	B
2	하반기 정기점검	'06.09.19 ~ '06.12.31	㈜아워브레인	●천단 및 측벽부 기존 현황에 균열, 망상균열, 콘크리트 박리 등	
3	상반기 정기점검	'07.05.10 ~ '07.06.30	㈜아워브레인	●차량 주행성 확보를 위한 콘크리트 포장부에 적절한 보수가 사료됨	
4	정밀점검	'07.08.22 ~ '07.12.20	㈜아워브레인	●포장면 파단에 대한 일부 보수를 실시한 상태이며, 천단 및 측벽부 균열, 타일균열, 공동구 덮개 파손 등의 손상이 추가 조사됨	B
5	상반기 정기점검	'08.03.10 ~ '08.06.30	㈜아워브레인	●차량 주행성 확보를 위한 콘크리트 포장부에 적절한 보수가 사료됨	
6	하반기 정기점검	'08.09.30 ~ '08.12.31	㈜아워브레인	●양호	
7	상반기 정기점검	'09.03.31 ~ '09.06.30	㈜아워브레인	●양호	
8	정밀점검	'09.10.01 ~ '09.12.31	㈜아워브레인	●갱문 마구리면 균열, 천정부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등	B

【표 2.3.1】무척산터널(대구) 기 점검 이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
9	상반기 정기점검	'10.03.08 ~ '10.60.30	㈜아워브레인	●하행선 일부구간에서 균열보수가 진행중인 것으로 조사됨, 천단부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등이 조사됨	
10	하반기 정기점검	'10.09.06 ~ '10.12.31	㈜아워브레인	●2010년 4~6월경 균열, 백태, 타일파손부 등의 손상은 일부 보수가 실시된 상태로 조사됨, 천단부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 조명등 파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등이 조사됨	
11	상반기 정기점검	'11.02.10 ~ '11.06.30	㈜아워브레인	●천단부는 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 재균열, 측벽부는 균열 및 타일파손, 조인트부는 들뜸 및 반원형균열, 공동구는 덮개파손, 공동구 내부는 균열, 누수 및 체수, 조명등 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부는 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부는 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실 등이 조사됨	
12	정밀점검	'11.07.29 ~ '11.12.31	㈜아워브레인	●갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면망상균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열보수 미흡, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 파손, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 표층유실, 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실 등이 조사됨	A

【표 2.3.1】무척산터널(대구) 기 점검 이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
13	상반기 정기점검	'12.02.20 ~ '12.06.30	㈜아워브레인	●라이닝부 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 파손 및 누수, 포장면 손상(균열, 파손, 스폴링, 스켈링), 공동구 측면 타일탈락, 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 백태, 누수 및 등 파손, 시·종점부 사면의 이완암 및 뜬돌, 절리부 누수, 세굴, 표층유실, 수목 등이 조사됨	
14	하반기 정기점검	'12.08.20 ~ '12.12.31	㈜아워브레인	●일부 공동구 측면 타일 탈락부를 보수한 것을 확인할 수 있었고, 양호한 상태이다. 터널의 주요 손상현황은 라이닝 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 파손 및 누수, 포장면 손상(균열, 파손, 스폴링, 스켈링), 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 측면 타일탈락 및 파손, 옥외공동구 누수 및 백태, 결로, 파손 등이 조사됨	
15	상반기 정기점검	'13.02.25 ~ '13.06.30	㈜아워브레인	●라이닝 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 탈락, 파손 및 누수흔적, 포장면 손상(균열, 스폴링, 스켈링), 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 측면 타일균열, 탈락 및 파손, 옥외공동구 균열, 누수 및 백태, 조명등파손, 시·종점부 사면 이완암 및 뜬돌, 절리부 누수, 세굴, 표층유실, 수목전도 위험, 배수시설 균열 등이 조사됨	
16	정밀점검	'13.09.09 ~ '13.12.31	㈜아워브레인	●갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토 유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열, 숏크리트 파손실 등이 조사됨	A
17	상반기 정기점검	'14.02.24 ~ '14.06.30	㈜아워브레인	●갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토 유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	

【표 2.3.1】 무척산터널(대구) 기 점검 이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
18	하반기 정기점검	'14.08.18 ~ '14.12.31	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 탈락, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스폴링 및 스켈링, 사면부 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	
19	상반기 정기점검	'15.03.02 ~ '15.06.30	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 탈락, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 조명등 파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스폴링 및 스켈링, 사면부 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	

【표 2.3.2】 무척산터널(부산) 기 점검이력

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
1	초기점검	'05.10.28 ~ '06.04.25	㈜아워브레인	•라이닝 균열 주입보수	A
2	하반기 정기점검	'06.09.19 ~ '06.12.31	㈜아워브레인	•천단 및 측벽부 기존 현황에 균열, 망상 균열, 콘크리트 박리 등이 조사됨	
3	상반기 정기점검	'07.05.10 ~ '07.06.30	㈜아워브레인	•차량 주행성 확보를 위한 콘크리트 포장부에 적절한 보수가 사료됨	
4	정밀점검	'07.08.22 ~ '07.12.20	㈜아워브레인	•천단부 및 측벽부 균열, 타일균열, 공동구 덮개 파손 등이 조사됨	B
5	상반기 정기점검	'08.03.10 ~ '08.06.30	㈜아워브레인	•차량 주행성 확보를 위한 콘크리트 포장부에 적절한 보수가 사료됨	
6	하반기 정기점검	'08.09.30 ~ '08.12.31	㈜아워브레인	•양호	
7	상반기 정기점검	'09.03.31 ~ '09.06.30	㈜아워브레인	•양호	

【표 2.3.2】 무척산터널(부산) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
8	정밀점검	'09.10.01 ~ '09.12.31	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 천정부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등이 조사됨	B
9	상반기 정기점검	'10.03.08 ~ '10.60.30	㈜아워브레인	•일부구간에서 균열보수가 진행중인 것으로 조사됨, 천단부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등이 조사됨	
10	하반기 정기점검	'10.09.06 ~ '10.12.31	㈜아워브레인	•2010년 4~6월경 균열, 백태, 타일파손부 등의 손상은 일부 보수가 실시됨, 천단부 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 균열보수부 재균열, 측벽부 균열 및 타일 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 조명등 파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질 퇴적, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실, 신호기 및 표지판 접합부 라이닝 균열 등이 조사됨	
11	상반기 정기점검	'11.02.10 ~ '11.06.30	㈜아워브레인	•천단부는 종·횡방향 균열, 표면망상균열 및 재균열, 측벽부는 균열 및 타일파손, 조인트부는 들뜸 및 반원형균열, 공동구는 덮개파손, 공동구 내부는 균열, 누수 및 체수, 조명등 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부는 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부는 표층유실 및 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실 등이 조사됨	

【표 2.3.2】 무척산터널(부산) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
12	정밀점검	'11.07.29 ~ '11.12.31	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면망상균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸 및 반원형균열, 공동구 내부 균열보수 미흡, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 파손, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 표층유실, 침식, 배수로 균열, 편책보수부 파손, 숏크리트 파손, 녹생토유실 등이 조사됨	A
13	상반기 정기점검	'12.02.20 ~ '12.06.30	㈜아워브레인	•라이닝부 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 파손 및 누수, 포장면 손상(균열, 파손, 스폴링, 스켈링), 공동구 측면 타일탈락, 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 백태, 누수 및 등파손, 시·종점부 사면의 이완암 및 뜬돌, 절리부 누수, 세굴, 표층유실, 수목 등이 조사됨	
14	하반기 정기점검	'12.08.20 ~ '12.12.31	㈜아워브레인	•일부 공동구 측면 타일 탈락부를 보수한 것을 확인할 수 있었고, 양호한 상태이다. 터널의 주요 손상현황은 라이닝 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 파손 및 누수, 포장면 손상(균열, 파손, 스폴링, 스켈링), 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 측면 타일탈락 및 파손, 옥외공동구 누수 및 백태, 결로, 파손 등이 조사됨	
15	상반기 정기점검	'13.02.25 ~ '13.06.30	㈜아워브레인	•라이닝 균열 및 보수부 재균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일균열, 탈락, 파손 및 누수흔적, 포장면 손상(균열, 스폴링, 스켈링), 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 측면 타일균열, 탈락 및 파손, 옥외공동구 균열, 누수 및 백태, 조명등파손, 시·종점부 사면 이완암 및 뜬돌, 절리부 누수, 세굴, 표층유실, 수목전도 위험, 배수시설 균열 등이 조사됨	
16	정밀점검	'13.09.09 ~ '13.12.31	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열, 숏크리트 파손실 등이 조사됨	B

【표 2.3.2】 무척산터널(부산) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
17	상반기 정기점검	'14.02.24 ~ '14.06.30	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토 유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	
18	하반기 정기점검	'14.08.18 ~ '14.12.31	㈜아워브레인	•Jet-Fan 본체 및 연결부 정비, 측벽부 일부 타일탈락 보수를 실시됨, 갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 탈락, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스폴링 및 스켈링, 사면부 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	
19	상반기 정기점검	'15.03.02 ~ '15.06.30	㈜아워브레인	•갱문 마구리면 균열, 라이닝부 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 탈락, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 조명등 파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스폴링 및 스켈링, 사면부 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열 등이 조사됨	

2.3.2 기 정밀점검 실시결과(2013년 12월)

가. 대구방향

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정2터널(대구)	천정부	균열(cw=0.3미만)	45	96.00	m
		균열(cw=0.3이상)	55	139.20	m
		보수부 재균열(cw=0.3미만)	18	130.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	32	258.00	m
		제트팬 녹발생	11	11	개소
		콘크리트 들뜸, 파손	58	3.42	㎡
	측벽부	균열(cw=0.3미만)	8	7.50	m
		균열(cw=0.3이상)	16	27.20	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	1	1.00	m
		타일 균열	54	54	개소
		타일 탈락	3	3	개소
	공동구	균열(cw=0.3이상)	56	23.50	m
		덮개 파손	7	7	개소
		측면타일 탈락	1	1	개소
	포장부	스폴링	54	3.86	㎡
		스켈링	26	1.21	㎡
		균열	5	16.5	m

2) 비파괴시험

구 분	위 치	시험결과	비 고	검 토
콘크리트 강도시험	라이닝	·반발경도법 : 24.2~28.7㎫	·설계강도 : 24.0㎫	양호
탄산화시험	라이닝	·탄산화깊이 : 2~7㎜ ·피복두께 : 50㎜ ·평가등급 : a	· a등급 : 탄산화 잔여깊이 30㎜이상	양호

3) 상태평가

① 상행선 콘크리트 라이닝 결함지수 산정

구 분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화						합계	결함 지수	등급
				박리	층분리 및박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화			
무근 구간 [S8-218]	2.73	0	0	0.23	0	0	0	0	0	2.96	0.11	a
철근 구간 [S1-7, 219-231]	2.81	0	0	0.14	0	0	0	0	0	2.94	0.08	a

② 상행선 터널 주변상태 결함점수 산정

항 목	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구상태	특수조건	합 계
결함점수	0	1	0	0.5	0	1.5

③ 상행선 부대시설 상태평가

항 목	균열	누수	손상	박리	박락	백태	철근 노출	중성화	합계	결함 지수	등급
결함점수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a

④ 상행선 터널 상태평가 등급 산정

구분	라 이 닝						터 널 주 변					합계	결함 지수	평균 결함 지수	부대 시설 가중 치	환산 결함 지수	등 급
	균열	누수	손상	재 질 열 화			배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동 구상 태	특수 조건						
				박리	박락	백태											
무근	2.73	0	0	0.23	0	0	0	1	0	0.5	0	4.46	0.13	0.13	1.00	**0.13**	A
철근	2.81	0	0	0.14	0	0						4.45	0.10				

4) 종합결론

무척산터널(대구)에 대한 정밀점검 결과, 본 시설물은 문제점이 없는 최상의 상태인 “A” 등급의 우수한 상태로 평가되었다. 금회 조사시, 라이닝에 균열 및 들뜸에 대해 일부 보수가 실시되었고, 양호한 상태이다. 주요현황으로는 갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열, 숏크리트 파손실 등이 발생된 상태이다. 기 발생된 손상현황에 대해서는 내구성 확보를 위한 보수가 필요하며, 시·종점부 사면에 기 발생한 세굴 및 표층유실은 추가 손상의 우려가 있으므로 표면보호공 등의 조치가 요망된다.

나. 부산방향

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정2터널(대구)	천정부	균열(cw=0.3미만)	43	62.20	m
		균열(cw=0.3이상)	41	134.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3미만)	5	37.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	21	182.00	m
		표면 균열	1	2.25	㎡
		제트팬 녹발생	11	11	개소
		콘크리트 들뜸	56	3.14	㎡
	측벽부	균열(cw=0.3미만)	15	17.80	m
		균열(cw=0.3이상)	14	27.50	m
		보수부 재균열(cw=0.3미만)	1	2.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	1	3.00	m
		표면 균열	1	7.50	㎡
		타일 균열	117	117	개소
		타일 파손 및 탈락	32	32	개소
	공동구	균열(cw=0.3이상)	61	28.90	m
		콘크리트 파손	1	0.30	㎡
		덮개 파손	26	26	개소
		측면 타일파손	5	5	개소
	포장부	스폴링	57	4.78	㎡
		스켈링	3	0.04	㎡
		균 열	4	6.50	m

2) 비파괴시험

구 분	위 치	시험결과	비 고	검 토
콘크리트 강도시험	라이닝	·반발경도법 : 24.9~29.8㎫a	·설계강도 : 24.0㎫a	양호
탄산화시험	라이닝	·탄산화깊이 : 3~7㎜ ·피복두께 : 50㎜ ·평가등급 : a	· a등급 : 탄산화 잔여깊이 30㎜이상	양호

3) 상태평가

① 하행선 콘크리트 라이닝 결함지수 산정

구 분	균열	누수	파손 및 손상	재질열화						합계	결함 지수	등급
				박리	층분리 및박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화			
무근 구간 [S8-220]	2.32	0	0	0.22	0	0	0	0	0	2.54	0.09	a
철근 구간 [S1-7, 221-233]	1.81	0	0	0.19	0	0	0	0	0	2.00	0.06	a

② 하행선 터널 주변상태 결함점수 산정

항 목	배수상태	지반상태	갱문상태	공동구상태	특수조건	합 계
결함점수	0	1	0	0.5	0	1.5

③ 하행선 부대시설 상태평가

항 목	균열	누수	손상	박리	박락	백태	철근 노출	중성화	합계	결함 지수	등급
결함점수	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	a

④ 하행선 터널 상태평가 등급 산정

구분	라 이 닝						터 널 주 변					합계	결함 지수	평균 결함 지수	부대 시설 가중치	환산 결함 지수	등 급
	균열	누수	손상	재 질 열 화			배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동 구상 태	특수 조건						
				박리	박락	백태											
무근	2.32	0	0	0.22	0	0	0	1	0	0.5	0	4.04	0.12	0.11	1.00	**0.11**	A
철근	1.81	0	0	0.19	0	0						3.50	0.08				

4) 종합결론

무척산터널(부산)에 대한 정밀점검 결과, 본 시설물은 문제점이 없는 최상의 상태인 “A” 등급의 우수한 상태로 평가되었다. 금회 조사시, 라이닝에 균열 및 들뜸에 대해 일부 보수가 실시되었고, 양호한 상태이다. 주요현황으로는 갱문 마구리면 균열, 라이닝부에 균열 및 보수부 재균열, 표면균열, 측벽부 타일균열 및 파손, 조인트부 들뜸, 공동구 내부 균열, 누수, 등파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 균열, 스케링, 스폴링, 사면부 뜬돌 및 이완암, 절리부 누수, 녹생토유실 및 세굴, 표층유실, 배수로 균열, 숏크리트 파손실 등이 발생된 상태이다. 기 발생된 손상현황에 대해서는 내구성 확보를 위한 보수가 필요하며, 시·종점부 사면에 기 발생한 세굴 및 표층유실은 추가 손상의 우려가 있으므로 표면보호공 등의 조치가 요망된다.

다. 옥외공동구(시점부)

1) 외관조사

위 치			손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
무척산터널(옥외공동구 시점부)	A면	천정부	보수부 재균열(cw=0.3미만)	2	2.00	m
	B면	천정부	균열(cw=0.3미만)	1	22.00	m
			누 수	2	2	개소
			전등 파손	1	2	개소
			백 태	1	0.25	㎡
		벽체부	표면균열	1	6.00	㎡
	D면	천정부	균열(cw=0.3미만)	1	20.00	m
			누 수	1	1	개소
			전등 파손	1	1	개소
	E면	천정부	균열(cw=0.3미만)	1	12.00	m
			전등 파손	1	1	개소
	부속시설	관리동 내부	균 열	1	1	개소

라. 옥외공동구(종점부)

1) 외관조사

위 치			손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
무척산터널(옥외공동구 종점부)	A면	천정부	균열(cw=0.3미만)	1	3.00	m
		벽체부	백 태	2	0.06	㎡
	B면	천정부	균열(cw=0.3미만)	1	30.00	m
			전등 파손	2	1	개소
			누 수	12	2	개소
		벽체부	균열(cw=0.3미만)	1	12.00	m
			균열부 누수	1	0.05	㎡
			백 태	3	0.03	㎡
	C면	천정부	균열(cw=0.3미만)	3	15.00	m
			누 수	2	2	개소
		벽체부	백 태	5	0.25	㎡
		바닥부	체 수	2	2.00	㎡

마. 시점측 터널부 사면

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
무척산터널(시점측 사면)	표층유실	STA.0+10m 2단 세굴 A=20m*10m	1	200.00	㎡
		STA.0+55m 2단 표층유실 A=6m*3m	1	18.00	㎡
		STA.0+60～90m 2단 표층유실 A=40m*10m	1	400.00	㎡
		STA.0+80～100m 1단 녹생토 유실 A=18m*1.5m	1	27.00	㎡
	낙석위험	상태양호			
	배수시설	1소단배수로 균열 L=4m	4	16.00	m
	수 목	상태양호			

바. 종점측 터널부 사면

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
무척산터널(종점측 사면)	표층유실	STA.0+40m 2단 표층유실 A=4m*4m	1	16.00	㎡
		STA.0+50m 2단 표층유실 A=3m*3m	1	9.00	㎡
		STA.0+70m 2단 녹생토 유실 및 누수 A=20m*2m	1	40.00	㎡
		STA.0+110m 자연사면 표층유실 및 수목전도위험 A=5m*5m	1	25.00	㎡
		STA.0+175~+200m 자연사면 표층유실 A=25m*1m	1	25.00	㎡
		STA.0+190m 3단 식생불량 및 표층유실 A=8m*3m	1	24.00	㎡
		STA.0+270m 1단 침식	1	1	개소
		STA.0+305m 1단 녹생토유실 A=10m*10m	1	100.00	㎡
	낙석위험	STA.0+30m 1단 뜬돌 및 부석	1	1	개소
		STA.0+145m 1단 심한풍화	1	1	개소
		STA.0+245m 1단 숏크리트 파손 A=3m*6m	1	18.00	㎡
	배수시설	STA.0+100m 산마루측구 체수 L=10m	1	10.00	m
		산마루측구 파손 A=0.1m*1.5m	1	0.15	㎡
		산마루측구 균열 L=3.0m	2	6.00	m
	수 목	3단 수목	3	3	개소
	기 타	STA.0+130m 1단 절리부 누수	1	1	개소

2.4 보수 · 보강 이력

【표 2.4.1】 무척산 터널(대구) 보수·보강 이력

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
보수	'10.04	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 타일보수, 표면처리	-
보수	'10.06	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 단면보수, 표면처리	-
보수	'11.07	-	대우건설(주)	옥외공동구 균열보수(수지주입), 누수부 정비)	-
보수	'12.06	-	대우건설(주)	측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수, 포장부 포장보수	-
보수	'13.06	-	대우건설(주)	천정부 균열, 들뜸, 백태보수	-
보수	'14.06	-	대우건설(주)	측벽부 화재구간 보수, 부대시설 제트팬 정비	-

【표 2.4.2】 무척산 터널(부산) 보수·보강 이력

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
보수	'10.04	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 타일보수, 표면처리	-
보수	'10.06	-	대우건설(주)	천정부 균열보수(수지주입), 측벽부 단면보수, 표면처리	-
보수	'11.07	-	대우건설(주)	옥외공동구 균열보수(수지주입), 누수부 정비	-
보수	'12.06	-	대우건설(주)	측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수, 포장부 포장보수	-
보수	'13.06	-	대우건설(주)	천정부 균열, 들뜸, 백태보수	-
보수	'14.06	-	대우건설(주)	부대시설 제트팬 정비	-

2.5 내진설계여부

준공도서 검토 결과 내진설계가 반영되지 않은 것으로 조사되었다.

2.6 자료분석 결과

본 과업의 효과적인 용역 수행을 위하여 건설관련 자료『부산～대구간 고속도로(삼랑진~상동간)건설공사』자료 와 유지관리 자료(기 정밀점검 자료, 보수, 보강자료 등) 등을 입수하였으며, 수집 자료를 검토한 결과 및 진단과업 진행방향은 다음 【표 2.14】와 같다.

【표 2.6.1】자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇준공도면 및 구조계산서 : 대구-부산간 고속도로 민간투자사업 준공도서 - 실시설계 종합보고서 - 토질 및 지반보고서 - 준공내역서, 수량산출서 - 구조 및 수리계산서 - 토질조사보고서 - 설계도면	◇각 준공도서를 참조한 결과, 주요 설계변경 내용 및 시공시 문제점이 없는 것으로 확인됨	◇현장조사 시 부재치수를 실측하여 복원도면과 비교, 검토 후 치수가 상이할 경우 안전 측으로 구조계산토록 하고 도면을 재작성하며, 실측치와 동일 할 경우는 준공도면을 기준으로 과업을 진행토록 함
유 지 관 리 자 료	◇정밀점검 보고서 (2013.12) ◇정기점검 보고서 (2015.06)	◇포장면 스켈링, 스폴링 ◇라이닝 균열 보수부 재균열 ◇제트팬 주변 균열 ◇사면부 표층유실, 세굴, 뜬돌, 배수로 균열 등 ◇내구성 조사결과, 설계기준 이상으로 양호한 상태임	◇전회 점검결과와 금회 진단결과를 비교·검토하여 추가손상 및 진전 여부를 확인하여 대책방안 마련 ◇전회 점검결과와 비교·검토하여 내구성 저하 여부 확인 ◇구조물의 제원변경확인 및 추가손상 발생에 대한 상세구조해석을 실시하여 안정성 확보여부 확인
	◇보수·보강 이력 - 시설물 관리대장 - 시설물정보관리종합시스템 보수 및 점검이력	◇측벽부 화재구간 보수 ◇부대시설 제트팬 정비	◇ 보수부 상태 확인

제 3장 현장조사 및 시험 개요

3.1 현장조사 개요

3.2 내구성 시험 및 측정 개요

3.3 G.P.R 탐사 개요

제 3장 현장조사 및 시험 개요

3.1 현장조사 개요

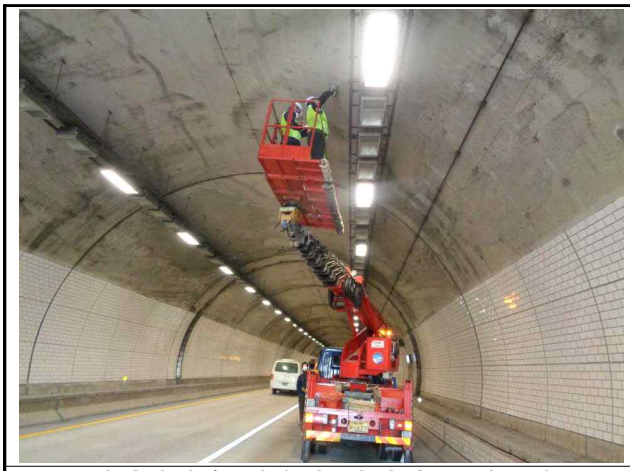
본 시설물에 대한 외관조사는 대상터널의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 구조적 손상유무를 판단하기 위해 부재 전체에 대하여 가능한 근접 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_터널편(2010.12, 국토해양부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

본 터널의 외관조사는 고소점검차를 이용하여 어깨부 및 천단부를 조사하고 그 외 공동구 및 포장부는 도보를 통한 조사를 실시하였다.

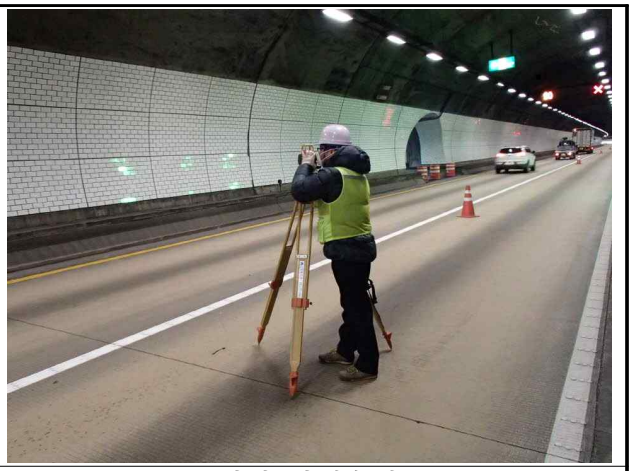
본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고 발생 원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 전체 부재에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 교량의 점검 및 유지관리 시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

3.1.1 현장조사 수행 현황

터널 외관조사는 조명시설, 점검차량, 스마트 균열경, 카메라 등의 접근장비를 이용하여 최대한 터널 라이닝에 근접한 후 육안조사를 실시하였으며, 조사결과는 지보패턴, 주변구조물의 상태, 주변 지형상태 등을 고려하여 분석하였다.

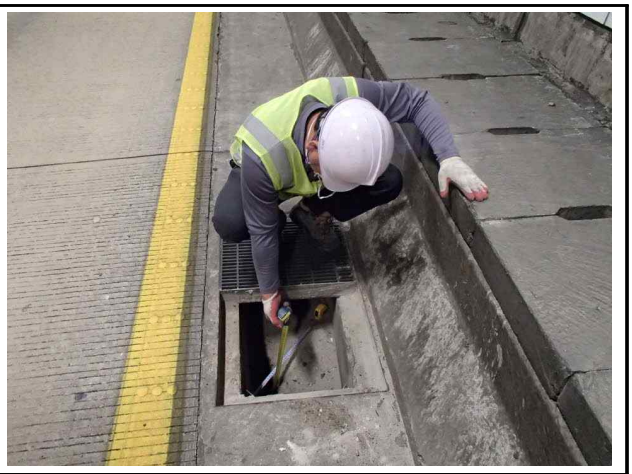


점검차량을 활용한 라이닝 근접조사



터널 단면측량

【사진 3.1.1】 외관조사 전경

배수시설(집수구) 조사 전경

【사진 3.1.1】 외관조사 전경(계속)

3.1.2 부재별 주요조사 항목

금번 정밀안전진단시 현장답사, 기존자료 등을 토대로 외관조사 방법을 결정하였으며, 부위별 점검항목별로 외관조사를 실시하였다.

【표 3.1.1】 부재별 주요조사 항목

구분		조사항목	비고
현장답사		•현장접근에 필요한 고소차 등의 접근방법, 일정계획을 수립 •예비조사를 통해 터널에 발생된 주요 결함을 형태별로 분류 •결함 및 손상의 발생 원인을 추정하고 조사방향 결정 •현장조사 안전조치 사항	
기존자료 검토		•천단부 종방향 균열 발생 유무 확인 •신축이음부 반원형 균열 발생 및 박락 유무 확인 •신축이음부 누수 및 배수시설 확인 •개착구간 철근노출 및 피복부족 구간 확인	
입·출구부	갱문	•벽체 균열 및 누수상태조사 •콘크리트 박리, 박락 상태조사 •기타 콘크리트 열화상태 조사	
	사면	•수목, 식생 상태조사 •사면 낙석 유무 조사 •지하수 유출 •배수로 및 우수로 상태조사	
본선터널	측벽부 천단부	•균열, 단차, 누수상태 •시공이음부 누수 및 손상상태 •박리, 박락 및 변형조사	
	배수시설	•배수상태 •배수구 덮개 파손 및 망실	

3.2 내구성 시험 및 측정 개요

3.2.1 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.

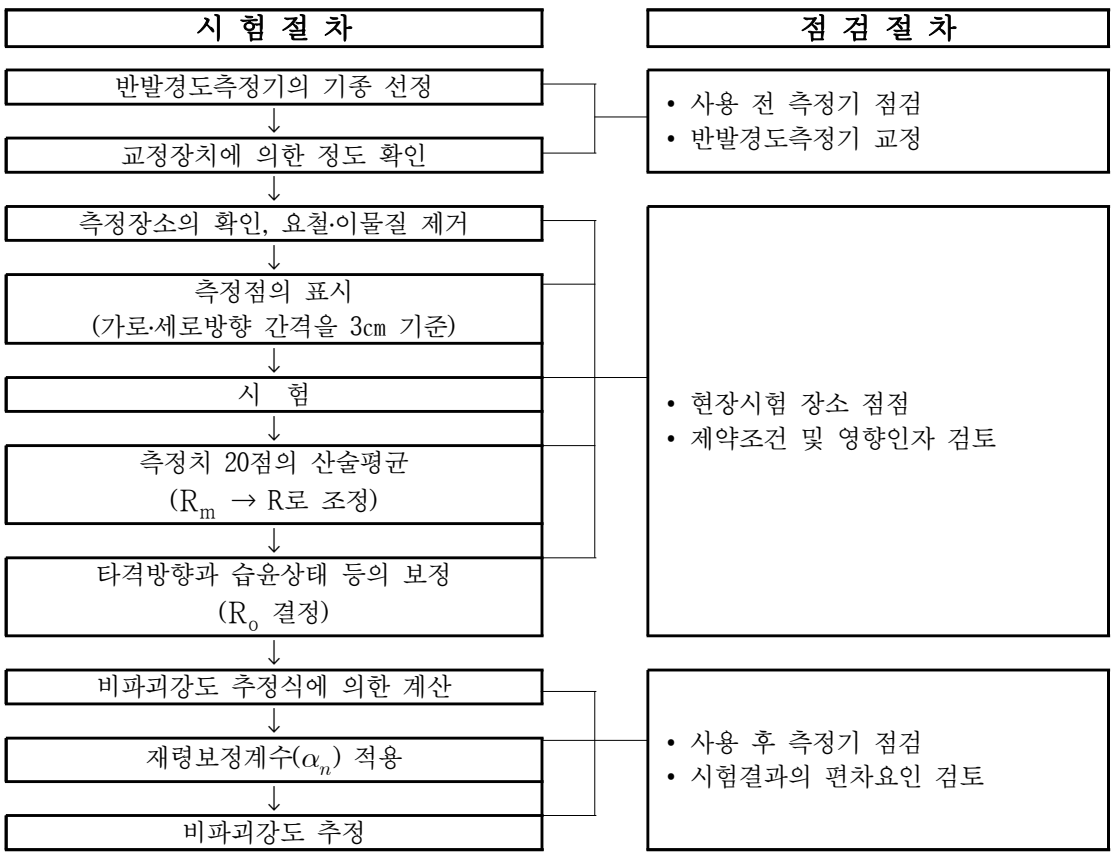
3.2.2 시험내용 및 평가기준

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 3.2.1】 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 3.2.1】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

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

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨

⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정

측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

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

【표 3.2.2】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분		추 정 식(MPa)	비 고
보통 콘크리트	일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
	동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	-
	일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
	U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	-
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)			

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래【표 3.2.3】와 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

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

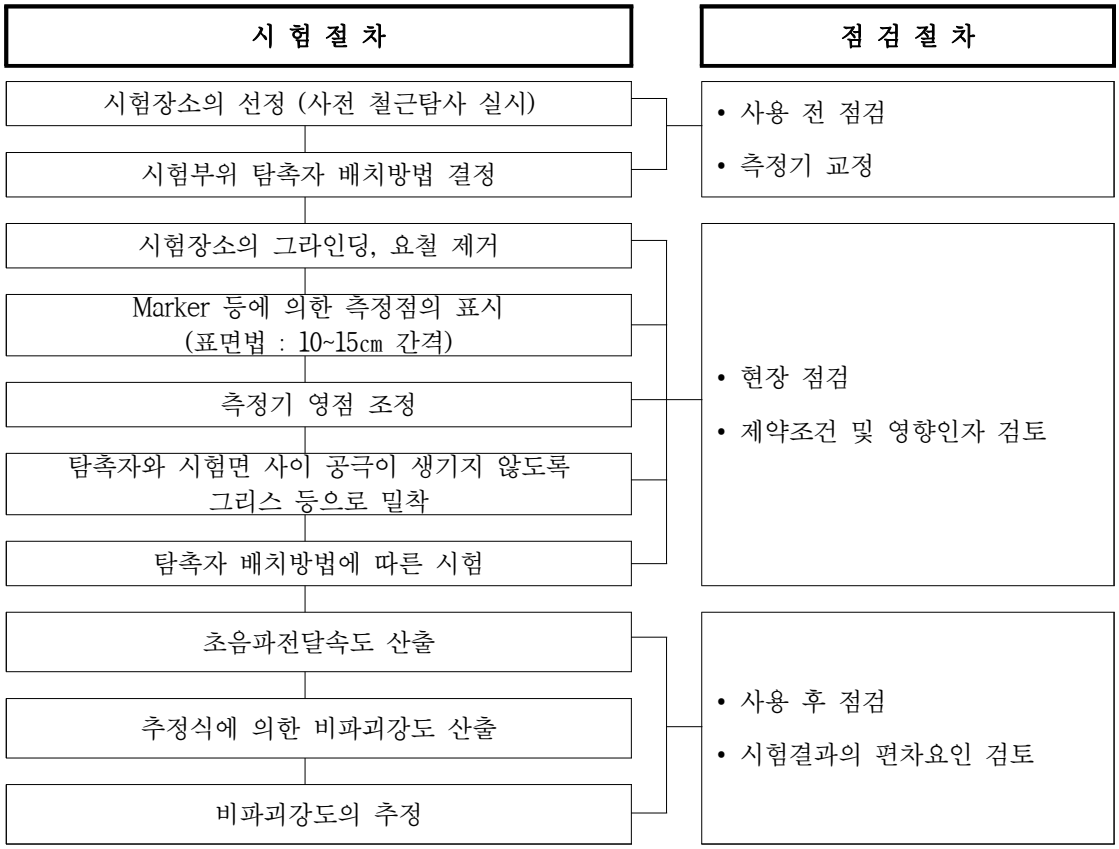
【표 3.2.3】 재령계수 α 값

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

2) 초음파전달속도시험

초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



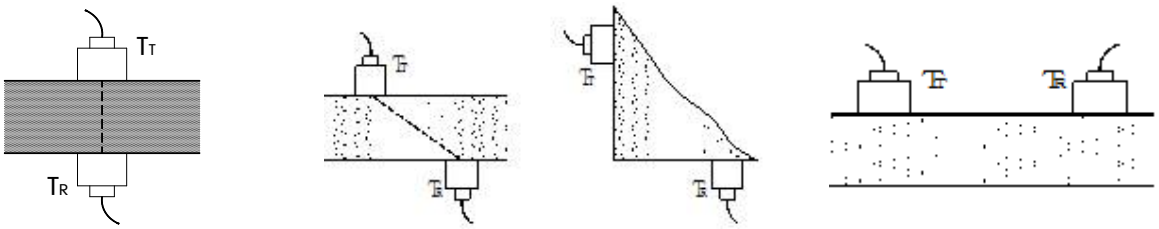
【그림 3.2.2】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 초음파전달속도시험에 의한 전달속도 분석

초음파전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

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

초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



(a)직접법 (b)간접법 (C)표면법

【그림 3.2.3】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

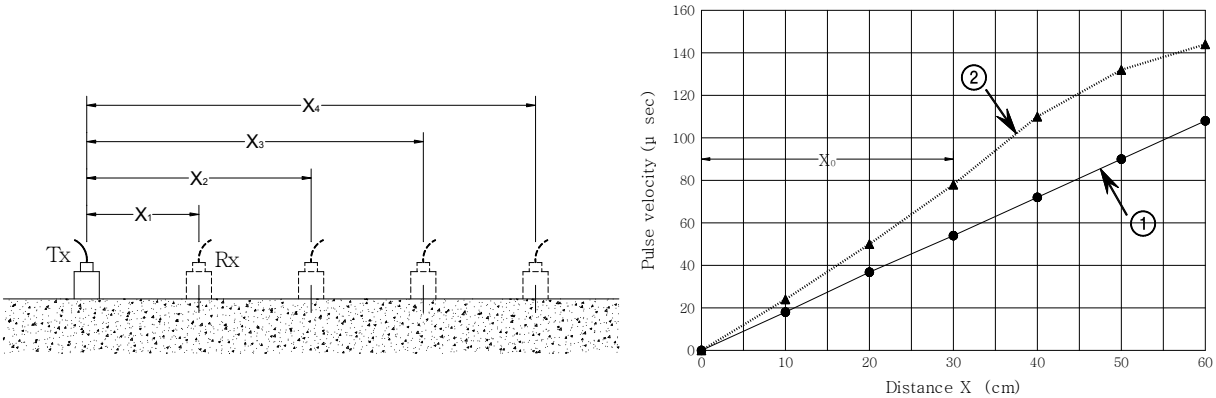
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.

보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.

표면법은 등간격(100~150㎜)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도(V_i)로 한다.



【그림 3.2.4】표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma (X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma (X_i - \overline{X})^2 \Sigma (T_i - \overline{T})^2}$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$는 거리 및 전달시간의 평균값

③ 비파괴강도의 추정

본 과업에서는 r^2값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도

의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

【표 3.2.4】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구 분		추 정 식(MPa)	비 고
보통 콘크리트	일본건축학회	$F_c = (215\,V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용(식③)
	일본재료학회	$F_c = (102\,V_d - 117) \times 0.098$	금회 적용(식④)
	한전기술연구원	$F_c = (339.1\,V_d - 1107) \times 0.098$	-
	谷川의 제안식	$F_c = (172.5\,V_d - 499.6) \times 0.098$	-

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(km/s)
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단) 참조
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전기술공단) 참조

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.

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 3.2.5】에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

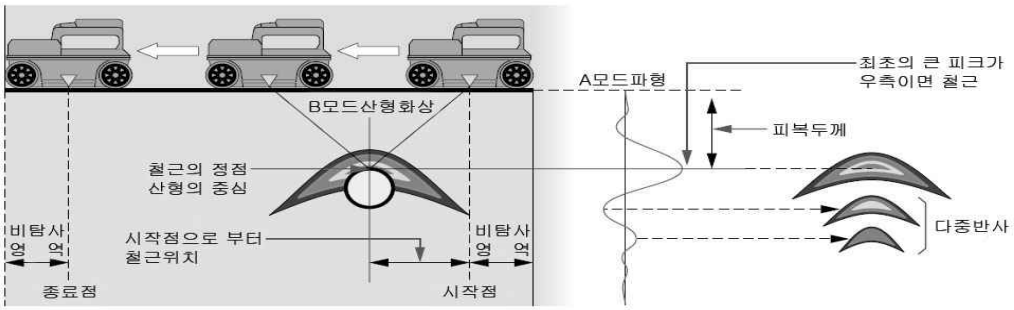
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

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.

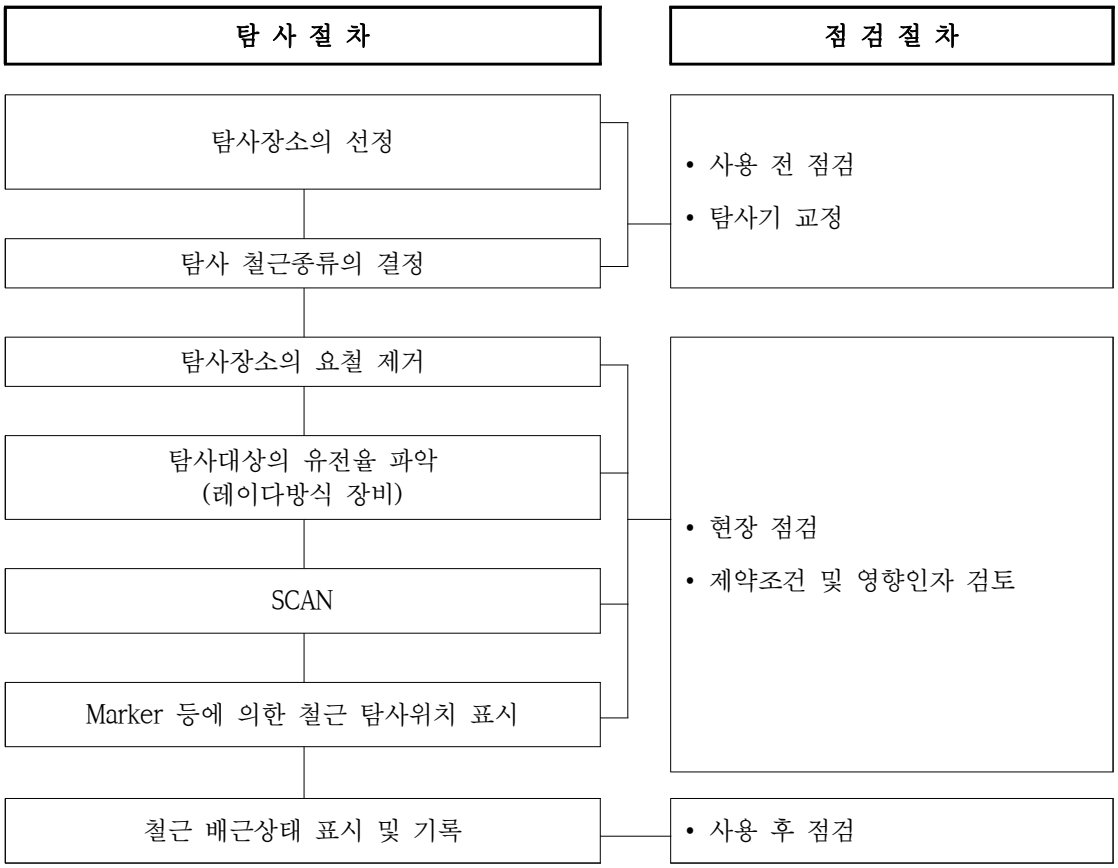
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3.2.5】 철근탐사 측정원리

3) 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

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



【그림 3.2.6】 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

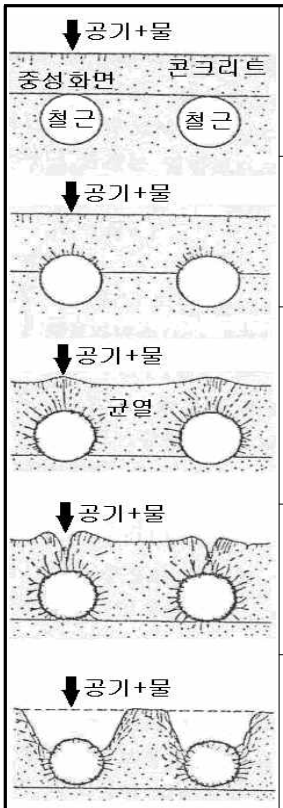
탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

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

(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 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3\cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.



STEP 1

- 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음
  (약간의 건조수축에 의한 균열)

STEP 2

- 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생

STEP 3

- 철근의 윗면이 팽창함
- 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임

STEP 4

- 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨
- 철근단면적이 감소함

STEP 5

- 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨
- 내구성능은 없음

【그림 3.2.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

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

【표 3.2.5】탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

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

3) 탄산화깊이의 측정

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

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

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

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

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

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

수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)^2

잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.2.6】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	-	-

라. 염화물함유량시험

1) 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 크게 구분할 수 있다.

하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.

다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.

콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는

염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.

전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.

강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m³ 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m³ 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m³ 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.

안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

2) 평가기준

① 국내 콘크리트 표준시방서 기준

굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

② 콘크리트 구조설계기준(2007년)

【표 3.2.7】염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007))

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)

【표 3.2.8】염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12))

기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 ≤ 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ < 염화물 ≤ 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	-	-

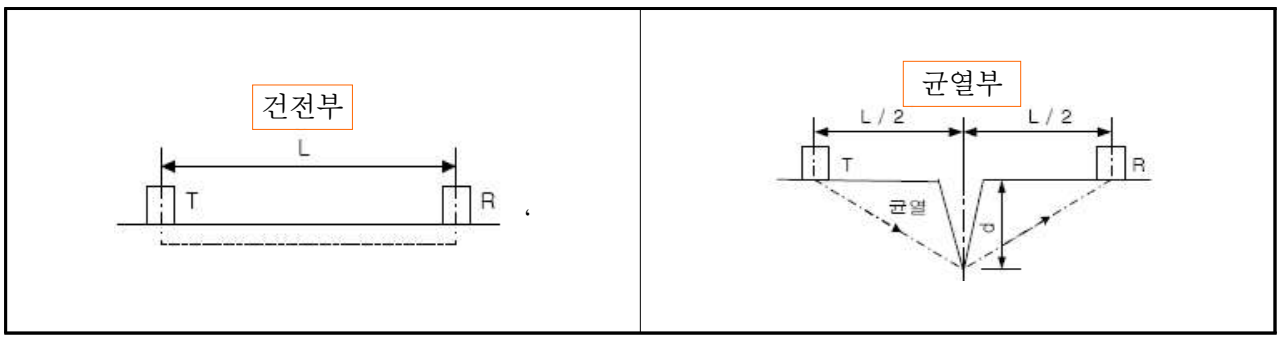
마. 균열깊이 조사

콘크리트 표면의 균열깊이는 일반적으로 T_c-T_o법으로 구한다.

T_c-T_o법은 콘크리트 부재의 균열부와 건전부에서 아래【그림 3.2.8】와 같이 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출하는 것이다. 본 방법에서는 균열부분을 중심으로 하여 송신탐촉자와 수신탐촉자를 등간격으로 배치한다. 송신탐촉자(T)로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고 균열 선단부를 경유해서 수신탐촉자(R)에 도달하기까지의 시간 T_c를 구한다.

비교용으로서 같은 콘크리트 부재에서 균열이 없는 부분을 대상으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 T_o를 구해 다음 식을 적용하여 균열깊이를 구한다. 본 과업에서는 X=10㎝를 적용하였다.

$$d = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_o^2)} - 1}$$



【그림 3.2.8】T_c-T_o법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법

3.3 G.P.R 탐사 개요

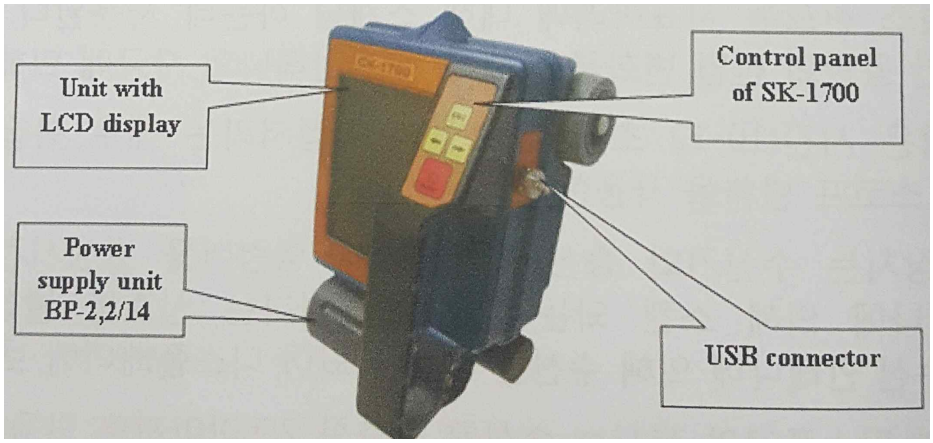
3.3.1 개요

본 G.P.R 탐사는 터널의 콘크리트 라이닝의 두께, 라이닝 배면의 공동 유무와 위치, 강지보공 설치현황 등을 조사하기 위하여 실시하였다. 탐사결과는 준공도서와 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며 이상반사파 구간의 두께 및 범위를 제시하여 필요시 보수, 보강 대책을 수립하는 등 터널의 유지관리에 필요한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

3.3.2 사용장비 및 탐사적용 조건

본 조사에 사용된 장비는 러시아 ©Geotech의 CONSTRUCTION SCAN 1700 3D를 이용하였으며 기존 G.P.R 시스템을 통합한 모델로서 제원은 다음과 같다.

【표 3.3.1】G.P.R 장비 제원

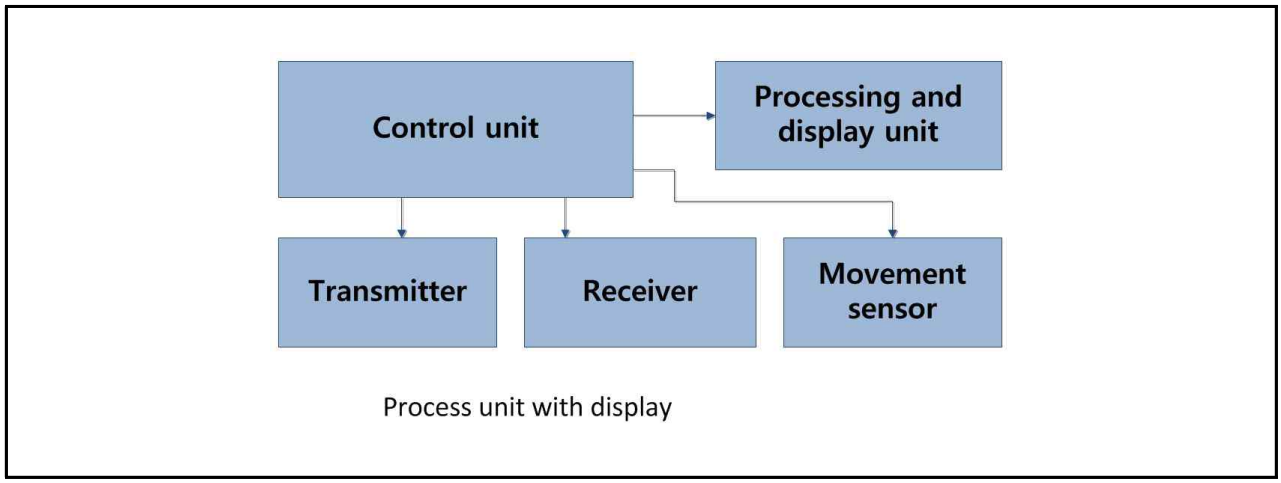


구 분	특 성	비 고
탐사깊이	1.0m 이상	
해상도	0.3cm	
스캐닝 속도	1.0m/sec 이상	
중심주파수	1,700 MHz	
작동시 무게	1.5kg	
작동 온도범위	-20° C ~ 50° C	
연속 작업시간	4시간/전원공급장치	

3.3.3 G.P.R 탐사 이론 및 자료처리 방법

G.P.R 탐사(Ground Penetrating Radar 혹은 Ground Probing Radar)란 고주파 대역의 전자파(electromagnetic wave)를 지표에서 송신안테나를 통해 지하로 방사시킨 후 지표하부의 지층경계, 파쇄대(fracture zone), 공동(cavity), 매설관(buried pipe)등과 같은 지하의 불균질층(체)으로 부터 반사된 반사파를 수신안테나를 통해 기록하고 기록된 수신 파형을 처리, 분석하여 지하 하부의 상태에 대한 정보를 얻는 물리탐사기법중의 하나이다.

G.P.R 탐사법은 이용하는 송신원의 성격으로 볼 때는 전자탐사의 범주에 들지만 고주파 대역의 전자파는 파의 거동과 송. 수신파형의 형태가 석유나 천연가스등 지하 자원탐사에서 널리 사용되는 탄성파(Seismic Wave)와 유사하기 때문에 탄성파신호의 자료처리(Data Processing)단계에서 사용되는 일반적인 처리 기법을 이용하여 탐사결과를 개선시킬 수 있으며, 타 물리탐사법에 비해 상대적으로 고주파대역을 이용하므로 뛰어난 분해능을 보인다. 또한 이 방법은 비파괴적인 방법(Non-Destructive Method)으로 지하에 대한 각종 유익한 정보를 얻을 수 있으며 기존의 물리탐사법에 비해 장비의 운용과 자료수집 및 처리가 비교적 간단하고 결과자료의 정밀도와 해상도가 뛰어나기 때문에 터널, 터널 등의 콘크리트 구조물에 대한 안전진단, 지하 매설물 조사, 20m 미만의 천부지반을 대상으로 시공을 하는 건설현장 등의 경우 매우 효과적으로 이용할 수 있다. G.P.R 장비의 기본 신호처리 시스템은 다음과 같다.



【그림 3.3.1】G.P.R 신호처리 시스템

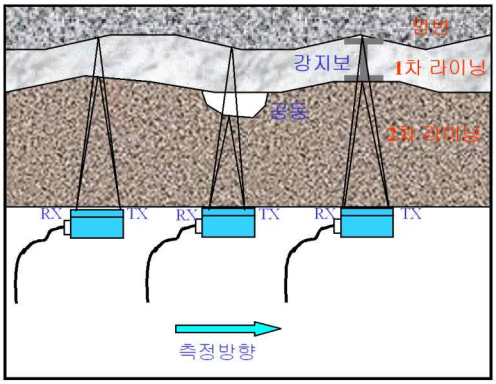
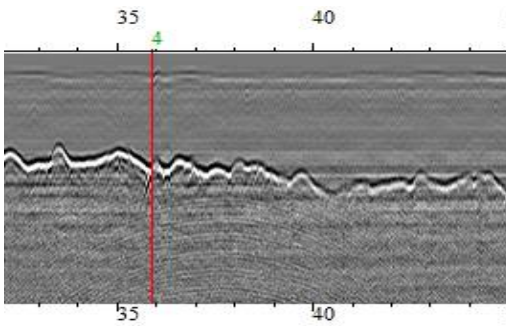
가. G.P.R 탐사 기본원리

송신안테나(Transmitter)로부터 수 MHz~GHz 범위의 전자기파를 지표면이나 구조물의 노출면에서 내부로 방사시킨 후, 전자기적 물성이 다른 매질을 만나 반사되어 돌아온 신호를 수신안테나(Receiver)에서 받고 이를 시간축에 기록한다. 이러한 과정을 미리 설계된 탐사측선을 따라 안테나를 수평으로 이동시키면서 계속하여 시간을 표시하는 수직축과 수평거

리를 나타내는 수평축에 반사강도를 표시하는 2차원 단면도를 얻는다.

매질 내에서의 전자기파의 속도를 알면 단면도에 나타난 수신파의 시간, 거리 간격으로부터 반사체의 거리, 방향과 같은 정보를 얻게 된다.

나. G.P.R 탐사모식도

GPR 신호처리 시스템 상세	GPR 탐사 모식도
1. Emitting Wave 1) 선택되어진 파장의 전자기파가 발신 안테나에서 발신(단속신호) 2) 발신과 동시에 수신측에 발신 시간 전달	
2. Propagating Wave 1) 매질을 진행하면서 회절에 의해 전자기파 확산 2) 진행방향으로 파의 세기 약화	
3. Reflecting and Transmitting Wave 1) 매질 경계면에서 전자기파 일부 반사 (반사법칙) 2) 나머지는 다른 매질로 계속 진행	
4. Receiving Wave 1) 시간에 따라 반사되어 오는 전자기파 수신 2) 발신시간과 수신시간의 차이 측정	
5. Analysing Wave 1) 반사신호 데이터 처리 2) 반사신호 패턴과 시간으로 정보 분석	

【그림 3.3.2】G.P.R 탐사모식도

다. 전자기파의 특성

G.P.R은 전자기파를 단속적으로 발생시키고 수신하는 측정장비로서 그 측정한계는 전자기파의 측정한계를 따른다. 전자기파의 전파특성은 2개의 다른 매질의 물리적 성질 즉, 유전상수(Dielectric Constant)와 전기전도도(Electrical Conductivity)에 영향을 받으며, 그 물리적 성질과 파의 전달속도, 반사면의 심도 등의 값을 구하는데 이용되고 있다.

유전상수는 매질분자의 극성과 관련된 상수로, 그 값이 큰 물질 내에서 전자기파는 진행에 방해를 받으며 전파속도는 줄어든다. 매질간 유전상수의 차이가 클 때 반사계수가 커진다. 공기의 유전상수는 1이며, 물의 유전상수는 81이다. 금속을 제외한 대부분의 지표물질의 유전상수는 1~81사이에 있으며, 같은 물질일 때는 함수율이 증가하면 유전상수도 증가한다.

전기전도도는 전자장 내에 놓인 물질내 자유전자의 흐름을 표시하는 상수로 전자파의 감쇠율을 결정한다. 금속과 같이 전기전도도가 큰 물질 내에서는 전자파의 에너지는 표면에서 급속히 감소하여 곧 진행이 차단된다. 일반 지표물질에서 전자기파는 전기전도도에 비례하여 감쇠한다.

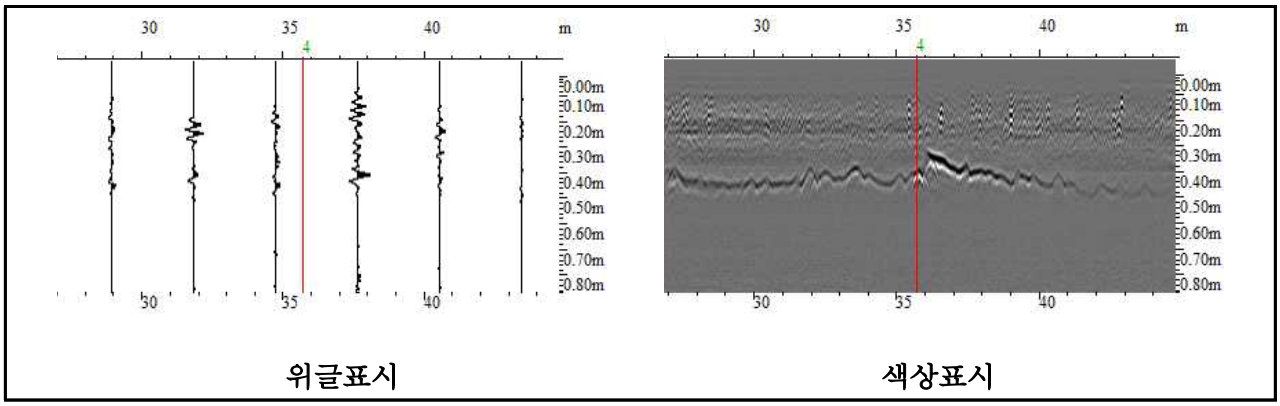
지반을 구성하는 대표적인 물질의 전자기적 특성을 보여준다. 점토는 모래보다 유전상수와 감쇠율이 커서 전자파의 투과 깊이가 짧고, 따라서 탐사가능심도가 훨씬 낮을 것임을 예측할 수 있다. 철근은 일반물질 중 유전상수와 감쇠율이 가장 높다.

【표 3.3.2】 일반적 물질의 전자기적 성질

물질	유전상수	속도(cm/nsec)	감쇠율(dB/m)
공기	1	30	0
물(담수)	81	3.3	0.1
모래	4	15	0.01
점토	9~25	10~6	1~300
아스팔트	5~6	13	(0.4~1)
콘크리트	6~12	12~8	(1~100)
화강암	4~6	13	0.01~1
철근	200~	~2	300~

라. 자료분석 방법

G.P.R 자료에서 수평축은 안테나의 이동거리를 나타내고 수직축은 반사파의 도착시간을 거리로 환산한 심도를 나타낸다. 수직축에는 수신안테나를 통해 기록된 신호를 위글(wiggle) 프로파일로 그리거나, 신호의 강도를 색상으로 나타낸다. 나타난 색상은 전자기파가 매질경계면에서 반사된 반사강도를 나타내는데 색상 그 자체보다는 인접부분과의 색상 차이, 즉 반사강도의 차이가 중요하다.



【그림 3.3.3】G.P.R 단면도 예

구조물 배면의 반사 경계면이 곡면이면 G.P.R 단면에서도 곡면을 보이게 되므로 이를 통해 배면의 형태를 유추할 수 있다. 3차원의 지장물 및 공동이 존재한다면 이는 G.P.R 단면에서 포물선 형태로 나타나게 되는데, G.P.R 단면도 상의 포물선형태 시그날은 지하매설물 및 터널 라이닝 배면의 공동파악 조사에 중요한 단서를 제공한다. 지반의 다짐상태나 지반 상부의 측정조건이 불량할 경우 반사파가 교란되어 피사체의 위치 및 규모, 상태 등을 정확히 판단하기에 어려움이 있을 수 있으며, 이 때는 기타 참고 자료등과 비교하여 위치를 유추해야 한다. 또한 터널 콘크리트 라이닝에 철근이 배근되어 있는 경우 전자파의 감쇠가 심하여 침투 깊이가 현저히 감소하고, 신뢰할 만한 자료취득이 힘들 때도 있다. 그러나 콘크리트 라이닝 등의 배면에 공동이나 공극 기타 이상 반사체가 있을 경우 개략적인 라이닝 배면의 상태를 파악할 수 있으며, 일부 콘크리트 품질에 대한 평가도 가능하다.

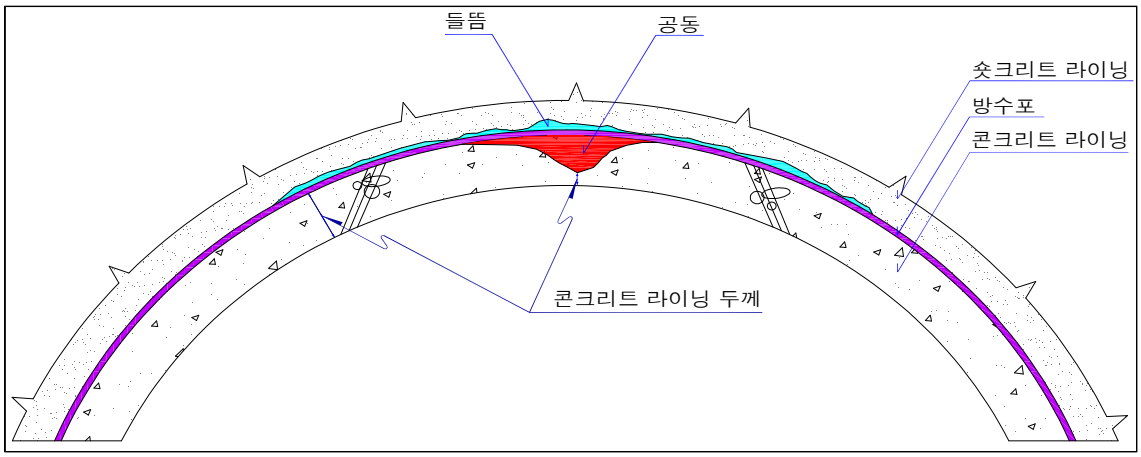
3.3.4 자료분석

가. 콘크리트라이닝 두께

콘크리트 라이닝 내부의 경계면 즉, 라이닝과 숏크리트의 경계면은 연속적인 반사면으로 작용하여 전자파를 반사시키므로 반사 신호의 왕복도달시간으로 라이닝의 두께를 알 수 있다. 그러나 기본적으로는 라이닝과 숏크리트의 상대유전율이 4~8로 매우 비슷하기 때문에 각 경계면들이 잘 밀착되어 있고 함수율의 변화가 미미하다면 각 경계면에서의 반사강도가 크지 않아 그 경계면을 탐지하기가 매우 곤란하다. 그러나 만일, 경계면들 사이에 공동 또는 경계면의 들뜸현상 및 함수율의 급격한 변화 등 에너지를 많이 반사시켜주는 이상대(anomalous zone)가 존재하면 경계면은 쉽게 탐지될 수 있다. 또한 터널 배면의 강지보재가 암반과 콘크리트 라이닝 사이에 시공된다는 점을 고려하여 탐사된 강지보재의 위치를 분석한다면 콘크리트 두께에 대한 정보를 취득할 수 있다. 대부분 터널의 탐사에서는 이러한 현상을 이용하여 콘크리트 라이닝의 경계면을 탐지하고 라이닝의 두께를 분석한다.

결론적으로 라이닝과 숏크리트의 경계면에서 전술한 이상대와 강지보재에 대한 정보가

있으면 대부분 쉽게 콘크리트 라이닝의 두께를 알 수 있다. 그러나 라이닝과 숏크리트는 에너지반사율에 가장 큰 영향을 미치는 상대유전율이 비슷하고(암반: 4~7, 콘크리트: 6~8) 함수비의 변화가 거의 없고 투과하던 에너지의 대부분이 감쇠, 반사 및 회절현상으로 라이닝과 암반이 경계면에 도달하는 에너지가 미미하고 강지보재에 대한 신호가 없다면 탐지가 매우 곤란하다



【그림 3.3.4】 콘크리트 라이닝 경계면 탐사모식도

나. 공동 및 경계부 들뜸

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

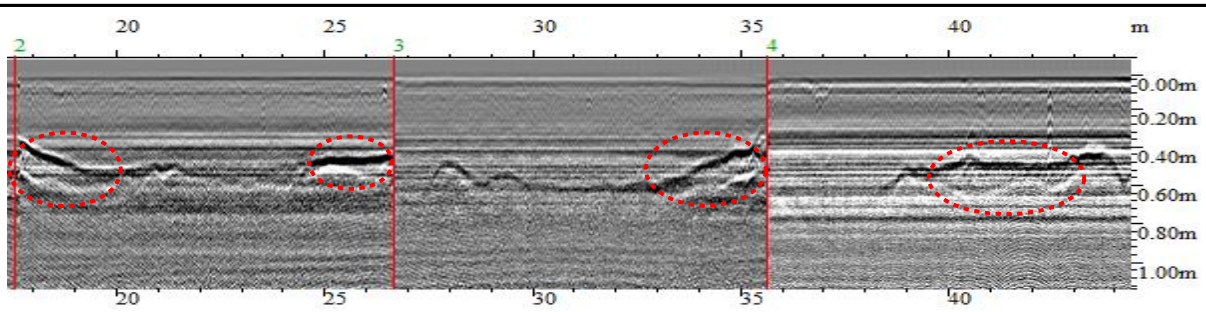
① 공동의 상부 경계면에서 강한 반사 신호가 발생한다.

② 공동내부에서 속도가 콘크리트에서보다 3배 빠른 다중 반사 신호가 나타난다.

③ 공동의 양 끝단에서 회절신호가 발생한다.

④ 불규칙한 공동경계면에서 많은 산란 회절신호가 발생한다.

⑤ 공동은 전자기적으로 매우 균질한 전파매질이고 공동에서 전자파의 속도가 빠르므로 공동자체의 깊이에 따라 약간의 차이는 있지만 고주파가 중첩되어 공동영역 하부에는 저주파수 특성이 강하게 나타난다.

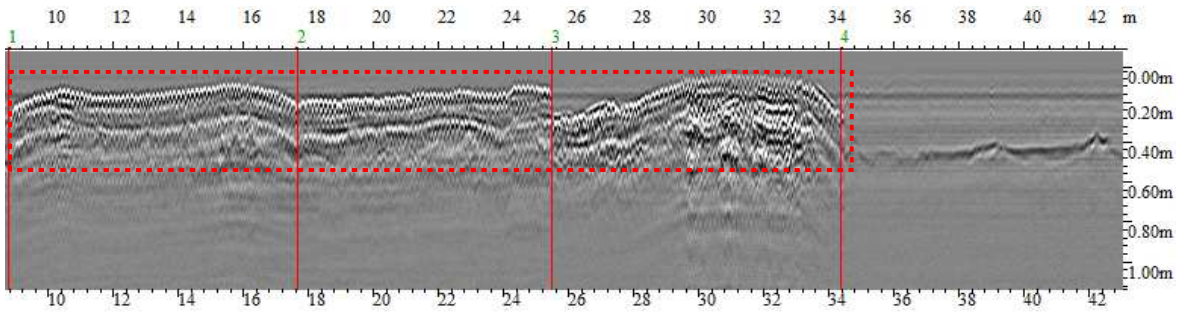


공동, 경계부들뜸 존재시의 G.P.R 탐사 DATA 예

【그림 3.3.5】 공동 탐사 예

다. 철근

철근은 콘크리트와 전기적 물성의 차이가 큰 탐사대상체로, 철근의 끝단에서 회절신호가 합쳐지면서 포물선 모양의 반사 신호가 매우 강하게 나타나며 동일한 모양의 다중 반사 신호를 나타내므로 쉽게 탐지가 가능하다.

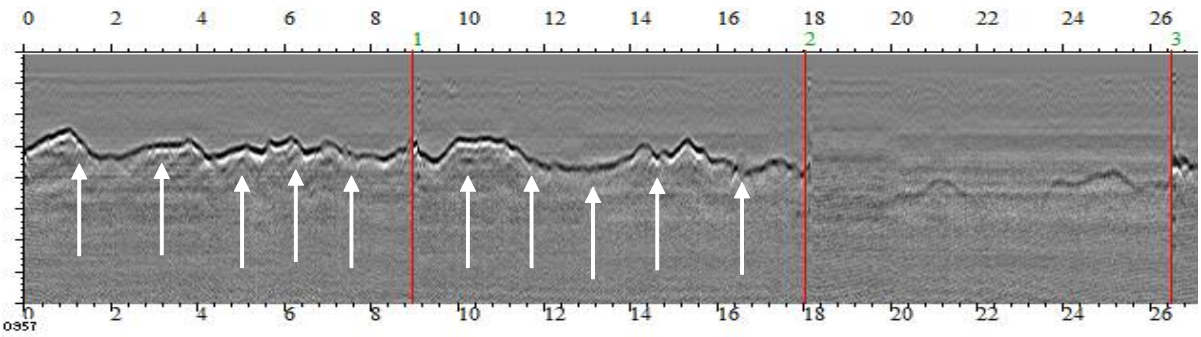


철근이 배근된 구간의 G.P.R 탐사 DATA 예

【그림 3.3.6】 철근 탐사 예

라. 강지보공

강지보공은 터널 라이닝을 구성하는 재료들 중에서 철근과 함께 콘크리트와 전기적 물성의 차이가 가장 큰 탐사대상체이다. 철근과 동일하게 강지보공의 끝단에서 회절신호가 합쳐지면서 포물선 모양의 반사 신호가 매우 강하게 나타나며 동일한 모양의 다중 반사 신호를 심도에 따라 1~2회 정도 나타내므로 쉽게 탐지가 가능하다. 그러나 표면으로부터 깊은 심도 내에 위치하거나 주변 매질이 물로 포화되어 있을 경우 탐지가 어려운 경우도 존재한다.



강지보공이 배근된 구간의 G.P.R 탐사 DATA 예

【그림 3.3.7】 강지보공 탐사 예

제 4장 상태평가 개요

4.1 개요

4.2 상태평가 항목 및 기준

제 4장 상태평가 개요

4.1 개요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010. 12」의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

정밀안전진단의 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【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.

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

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

【표 4.2.1】터널의 기본시설물과 부대시설물의 종류

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

나. 상태평가 항목

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

【표 4.2.2】 터널 상태평가 항목

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

다. 기본시설 결함지수 산정

1) 터널별 결함지수 산정기준

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

① NATM터널(무근콘크리트 라이닝)

【표 4.2.3】 NATM터널(무근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준

평 가 기 준			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	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2 ~ 3		
					영향범위 외 : 1		
	갱문상태		손 상 : 0.5 ~ 1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1 ~ 3				
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 결함점수}{27}$, 터널결함지수(F) = $\frac{\Sigma 결함점수}{34}$							

② NATM터널(철근콘크리트 라이닝)

【표 4.2.4】NATM터널(철근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준

평 가 기 준			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	박리	0	0	1	1	1
		층분리 및 박락	0	0	1	2	3
		백태	0	0	1	1	1
		재료분리	0	0	1	1	1
		철근노출	0	1	2	3	4
		탄 산 화	0	1	2	3	-
		염 화 물	0	1	1	2	-
터널주변	배수상태		오 염 됨 : 1				
			배수불량 또는 막힘 : 2				
	지반상태		풍화변질 및 단층파쇄대		영향범위 내 : 2~3		
					영향범위 외 : 1		
	갱문상태		손 상 : 0.5~1				
	공동구상태		덮개파손 및 오염됨 : 0.5				
			이물질 퇴적 및 침수 : 1				
특수조건			전차선을 설치한 터널에서 낙수 및 동결위험(추가점수) : 1~3				
라이닝 결함지수(f) = $\frac{\Sigma 결함점수}{36}$, 터널결함지수(F) = $\frac{\Sigma 결함점수}{43}$							

③ 개착식터널

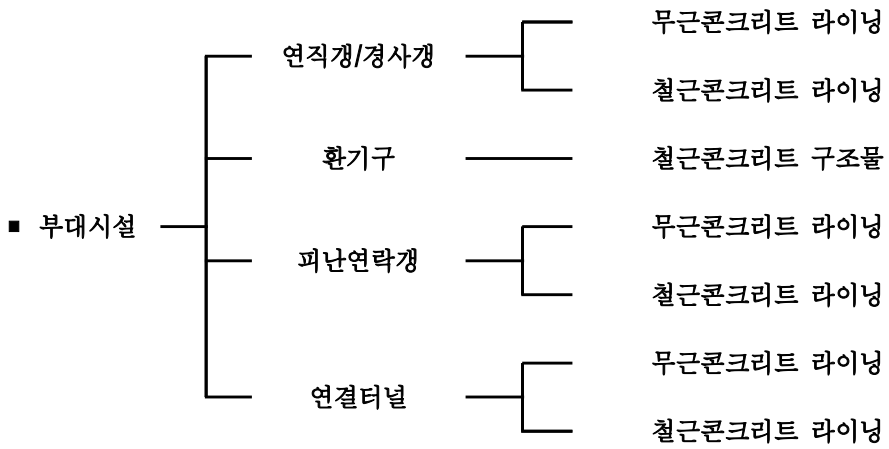
【표 4.2.5】개착식터널 결함지수 산정기준

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

라. 부대시설 결함지수 산정기준

1) 터널 부대시설 분류

터널 부대시설 중에서 중요도 및 규모가 상대적으로 큰 별도평가 부대시설을 기능 및 구조물의 재질에 따라 분류하면 【그림 4.2.1】과 같다.



【그림 4.2.1】부대시설 분류

2) 부대시설 상태평가 항목

터널 부대시설은 기본시설과 같이 무근 및 철근콘크리트로 구성되어 있으므로 상태평가 시 고려해야할 주요 평가항목은 다음 【표 4.2.6】과 같다.

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

【표 4.2.6】부대시설 상태평가 항목

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

3) 부대시설 가중치

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

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

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

【표 4.2.7】부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0≦f<0.15	0.15≦f<0.30	0.30≦f<0.55	0.55≦f<0.75	0.75≦f
시설물 상태평가	· 문제점이 없는 최상의 상태	· 기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	· 부재의 손상이 있으나 기본시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	· 부재의 손상이 중대하여 기본 시설에 영향을 주는 상태	· 기본시설의 기능 수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

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

부대시설의 결함지수(f) = Σ(fn) / N

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

부대시설 상태평가 결과 산정

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

4) 부대시설 결함지수 산정기준

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

① 무근 콘크리트

【표 4.2.8】 부대시설(무근콘크리트) 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
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
부대시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{27}$						

② 철근 콘크리트

【표 4.2.9】 부대시설(철근콘크리트) 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
균 열		0~2	3~5	6~8	9~11	12~13
누 수		0	1	2	3	4~5
파손 및 손상		0	0	1	2	3
재 질 열 화	박 리	0	0	1	1	1
	층분리 및 박락	0	0	1	2	3
	백 태	0	0	1	1	1
	재료분리	0	0	1	1	1
	철근노출	0	1	2	3	4
	탄 산 화	0	1	2	3	-
	염 화 물	0	1	1	2	-
부대시설 결함지수(f) = $\frac{\Sigma \text{결함점수}}{36}$						

4.2.2 상태평가 항목 및 기준

가. 기본시설 상태평가 항목 및 기준

1) 균열

【표 4.2.10】균열 상태평가 기준

구 분		a	b	c	d	e
콘크리트 라이닝	무근(균열)	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.3㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 3.0㎜미만	3.0㎜이상
	철근(균열)	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.3㎜이상 0.5㎜미만	0.5㎜이상 0.7㎜미만	0.7㎜이상
개착식터널	BOX(균열)	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.2㎜이상 0.5㎜미만	0.3㎜이상 0.7㎜미만	0.7㎜이상

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

<해 설>

1) 진행성의 유무가 확인되지 않은 경우에 적용하며, 진행성이 확인되는 경우 평가는 하향조정하고 정밀안전진단을 실시하여 정기적으로 관찰하도록 한다.
※ 진행성 여부의 판별은 주기적인 점검(정기점검) 결과를 활용해 판단한다.

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



(종균열) (횡균열) (경사균열) (망상균열)

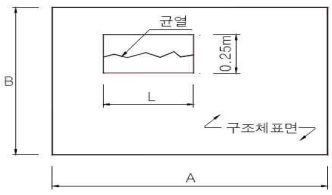
3) 균열이 다음 스판에 연속적으로 이어져 있는 경우 평가는 하향조정할 수 있다.

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

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

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

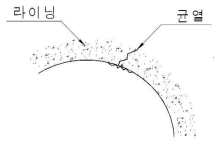
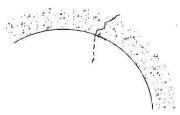
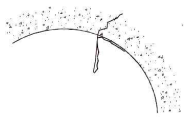
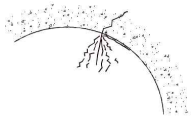
- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.



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

2) 누수

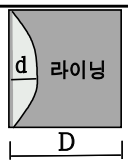
【표 4.2.11】 누수 상태평가 기준

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

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

3) 파손 및 손상

【표 4.2.12】 파손 및 손상 상태평가 기준

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

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

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

【표 4.2.13】 재질열화 상태평가 기준

구 분	a	b	c	d	e
박리	없 음	0.5㎜미만	0.5㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 25㎜미만	25㎜이상 이거나 조골재 손실
층분리 및 박락	없 음	깊이 12㎜미만 또는 직경 75㎜미만	깊이12~25㎜미만 또는 직경75~150㎜미만	깊이 25㎜이상 또는 직경 150㎜이상	박락이 극심하여 즉시 보수를 요하는 상태
백태, 재료분리	없 음	면적율 5%미만	면적율 5~10%	면적율 10~20%	면적율 20%이상
철근노출	없 음	면적율 1%미만	면적율 1~3%미만	면적율 3~5%미만	면적율 5%이상
탄산화 잔여깊이	30㎜이상	10㎜이상 ~ 30㎜미만	0㎜이상 ~ 10㎜미만	0㎜미만	-
전염화물 이온량	0.3kg/m³ 이하	0.3kg/m³ 초과 ~ 0.12kg/m³ 미만	0.12kg/m³ 이상 ~ 0.25kg/m³ 미만	0.25kg/m³ 이상	-
해 설	1) 박리, 층분리 및 박락, 백태, 재료분리는 콘크리트의 재질에 대한 평가로서 경년이나 주변환경 영향 등에 따라 열화 되는 특성을 나타낸다. 2) 박리는 콘크리트 라이닝의 박리된 깊이를 기준으로 하며, 층분리 및 박락은 콘크리트 박락된 깊이, 직경, 상태 등을 고려하여 판단하도록 한다. 3) 박리 · 층분리 및 박락이 심한 경우에는 다른 변상조건들과 비교·검토하여 그 원인을 조사하도록 한다. 4) 백태 및 재료분리의 경우 발생범위와 정도로부터 판단하도록 한다. 5) 철근노출은 철근콘크리트 라이닝인 경우에 적용하며, 심한 부식이 우려되는 경우에는 부식도를 측정하여 철근의 부식상태를 평가하도록 한다. 또한, 철근노출 발생 면적은 철근 노출 길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다. 6) 탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 탄산화에 의한 단독 열화에 대하여 적용하며, 콘크리트 품질평가 기준인 탄산화는 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 “a~d” 로 한다. 평가는 철근의 피복은 조사 위치에서의 실측치를 기준으로 한다. <일본구조물진단기술협회 『비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼』(2003년)> 7) 채취 코어의 전염화물 이온 시험결과에서 염화물에 의한 강재부식 가능성을 평가하며, 염화물 함유량은 직접적인 손상항목이 아닌 철근부식을 유발할 수 있는 환경에 관한 항목으로써 상태평가 기준 범위를 “a~d” 로 한다. 염화물 함유량 분석은 철근 깊이까지 깊이별(10㎜ 또는 20㎜)로 단계를 구분하여 염화물 분포를 파악함을 원칙으로 하며, 염화물 이온농도의 분포를 도시한다. <일본구조물진단기술협회 『비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼』(2003년)> 8) 박리, 층분리 및 박락의 면적율이 20% 이하일 경우는 해당 상태평가결과를 기재하고, 면적율이 20% 이상일 경우는 a→a, b→c, c→d, d→e, e→e로 하향조정할 수 있다.				

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

5) 배수상태

【표 4.2.14】배수상태 상태평가 기준

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

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

6) 지반상태

【표 4.2.15】지반상태 상태평가 기준

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

7) 갱문(접속부)상태

【표 4.2.16】 갱문(접속부)상태 상태평가 기준

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

※ : ( )은 지하차도에 적용한다.

8) 공동구 상태

【표 4.2.17】 공동구상태 상태평가 기준

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

9) 특수조건(추가점수)

【표 4.2.18】 특수조건(추가점수) 상태평가 기준

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

나. 부대시설 상태평가 항목 및 기준

1) 균 열

【표 4.2.19】균열 상태평가 기준

구 분 \ 평가기준	a	b	c	d	e
무근 콘크리트 라이닝	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.3㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 3.0㎜미만	3.0㎜이상
철근 콘크리트 라이닝	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.3㎜이상 0.5㎜미만	0.5㎜이상 0.7㎜미만	0.7㎜이상
철근 콘크리트 구조물 (개착 구조물)	0.1㎜미만	0.1㎜이상 0.3㎜미만	0.3㎜이상 0.5㎜미만	0.5㎜이상 0.7㎜미만	0.7㎜이상

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

2) 누 수

- 기본시설 누수 참조

3) 파손 및 손상

【표 4.2.20】파손 및 손상 상태평가 기준

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

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

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

- 기본시설 재질열화 참조

4.2.3 상태평가 등급 산정방법

가. 기본시설 상태평가 결과 산정

1) 1단계 : 라이닝 결함지수(f) 산정

① 라이닝 단위길이별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

② 라이닝 단위길이별 결함지수를 구한다.

③ 라이닝 전체에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때 라이닝 단위길이별 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 라이닝 상태평가 결과 산정

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

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

3) 3단계 : 터널 주변 상태 결함점수 산정

① 터널 주변 상태에 대한 배수, 지반, 갱문, 공동구상태의 결함점수를 부여한다.

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

4) 4단계 : 터널 상태평가 결과 산정

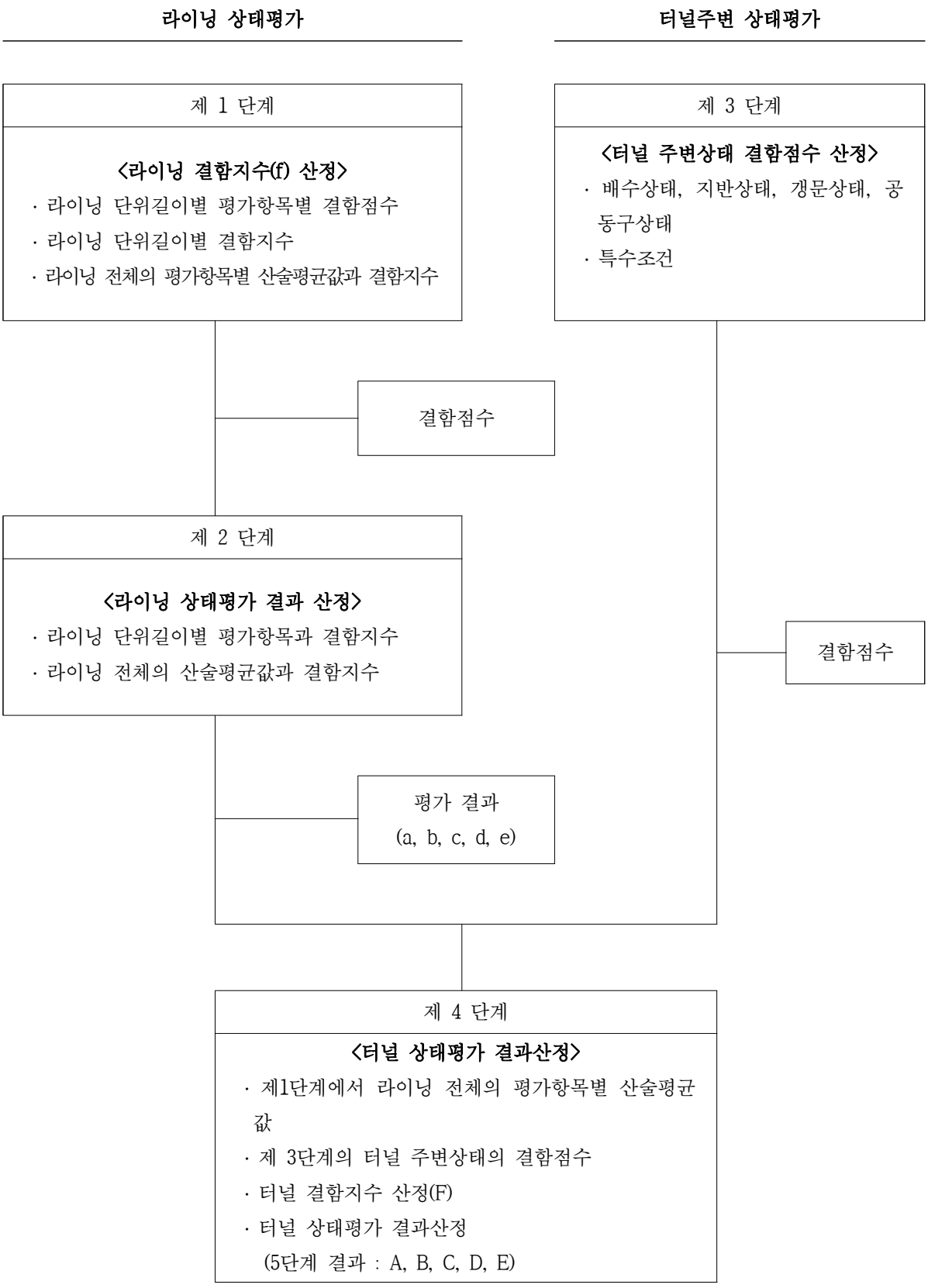
① 제1단계의 라이닝 결함지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과, 제3단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합한다.

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

③ 터널 상태평가 결과 산정

【표 4.2.21】터널 상태평가 결과 산정

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



【그림 4.2.2】상태평가 결과 산정절차

나. 부대시설 상태평가 결과 산정

1) 1단계 : 부대시설 결함지수(f) 산정

① 평가단위별 평가항목에 대해 최저의 결함점수를 부여한다. 균열의 결함점수는 일반적으로 평균값으로 취하며 단차, 폭, 깊이 등을 고려하여 결정한다.

② 부대시설 평가단위별 결함지수를 구한다.

③ 부대시설에 대한 결함지수(f)를 구한다. 이때에 부대시설 평가항목에 대한 결함점수를 산술평균하여 구한다.

2) 2단계 : 전체 부대시설 상태평가 결과 산정

① 부대시설별 평가항목과 결함지수에 대한 평가를 5단계 (a, b, c, d, e)로 매긴다.

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

③ 개별 부대시설을 각각 평가한 후 산술평균하여 부대시설 결함지수를 산정하고 전체 부대시설 상태평가 결과를 5단계(A, B, C, D, E)로 매긴다.

부대시설의 결함지수(f) = $\Sigma(fn)/N$

여기서, fn : 개별 부대시설의 상태평가 결함지수

N : 개별 부대시설의 개수

3) 3단계 : 전체 시설물 상태평가 결과 산정

① 기본시설 결함지수(F)에 부대시설 가중치(W)를 곱하여 전체시설물의 결함지수(F)를 산정하고, 시설물 상태평가 결과를 5단계 (A, B, C, D, E)로 매긴다.

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

【표 4.2.22】 부대시설의 가중치

가중치(W)	1.0	1.00	1.02	1.05	1.10
부대시설 결함지수	0≦f<0.15	0.15≦f<0.30	0.30≦f<0.55	0.55≦f<0.75	0.75≦f
시설물 상태평가	· 문제점이 없는 최상의 상태	· 기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태	· 부재의 손상이 있으나 기본시설 기능 수행에 문제가 없는 상태	· 부재의 손상이 중대하여 기본 시설에 영향을 주 는 상태	· 기본시설의 기능 수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

제 5장 종합평가 및 안전등급 지정 개요

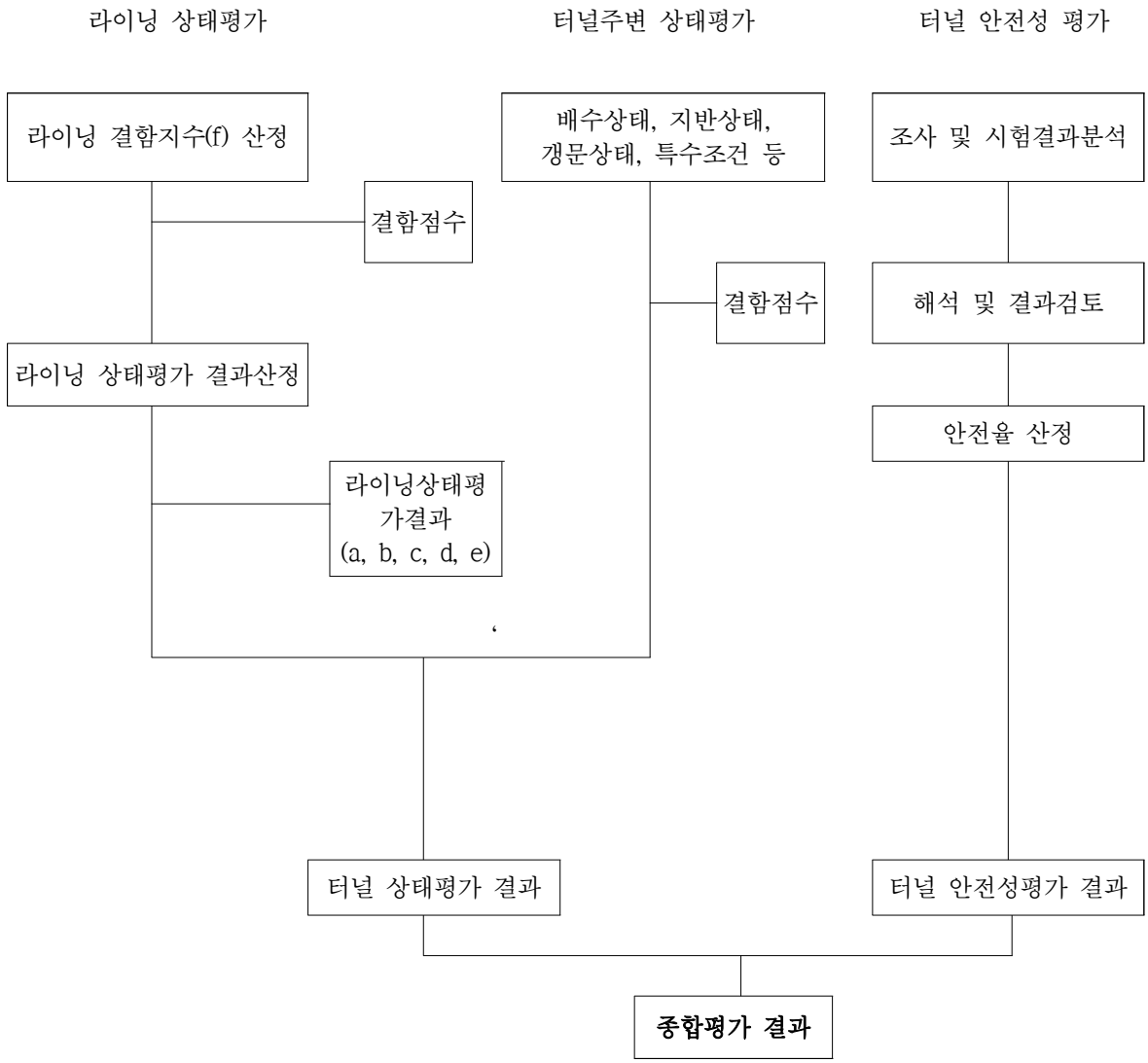
5.1 종합평가 기준

5.2 안전등급 기준

제 5장 종합평가 및 안전등급 지정 개요

5.1 종합평가 기준

시설물의 종합평가는 외관조사 및 내구성평가 항목인 탄산화, 염화물함유량에 의한 평가를 포함한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 종합하여 개별시설물의 종합평가 결과를 도출하며 그 과정을 흐름도로 나타내면 【그림 5.1.1】과 같다.



【그림 5.1.1】종합평가 결과 산정 흐름도

5.2 안전등급 기준

상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하게 되며 A~E등급으로 지정된 안전등급은 시설물의 상태가 다음 【표 5.2.1】과 같은 의미를 가지게 된다.

【표 5.2.1】 안전등급 기준

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

Ⅱ 무척산터널(대구)

제 1장 현장조사 및 시험

1.1 외관조사 결과

1.2 내구성 조사 결과

1.3 G.P.R탐사 결과

제 1장 현장조사 및 시험

무척산터널(대구방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,042m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.428% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span)+굴착(NATM, 228Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

1.1 외관조사 결과

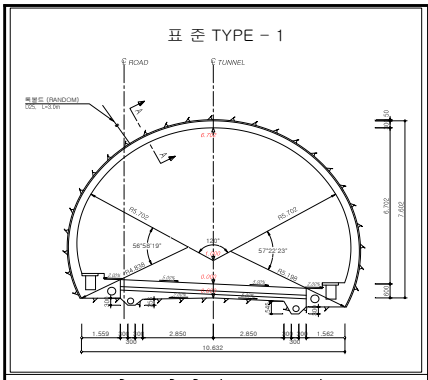
1.1.1 시공현황

본 무척산터널(대구방향)은 '고속국도 제55호선 대구~부산간 건설공사 제9공구'에 해당하며, 시공현황은 다음과 같다.

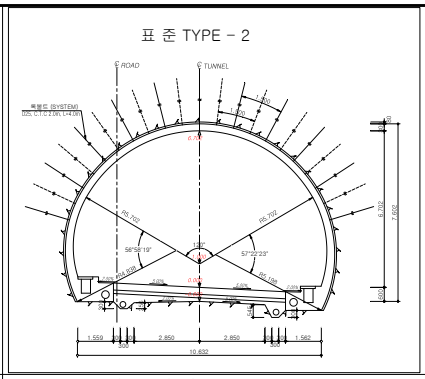
【표 1.1.1】 무척산터널(대구방향) 시공현황

노 선	고속국도55호선(대구방향)	Sta.	부산기점 24.637km
위 치	경상남도 김해시 상동면 여차리 ～생림면 안양리	시공사	대우건설(주)
설계사	동명기술공단	준 공	2006. 02.

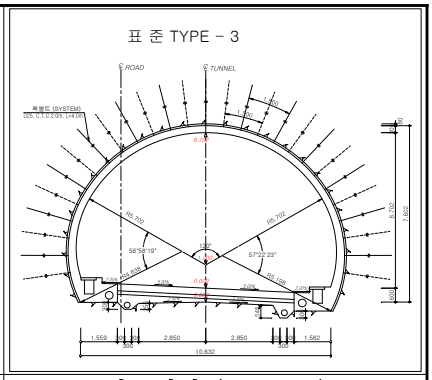
지보패턴 시공현황									
Start. 부산기점	End. 부산기점	굴착방법	지보 형태	형식	Start. 부산기점	End. 부산기점	굴착방법	지보 형태	형식
24k637	24k662	개착공법	-	개착터널	25k142	25k882	전단면굴착	1	NATM
24k662	24k692	반단면굴착	6	NATM	25k882	26k242	전단면굴착	2	NATM
24k692	24k742	반단면굴착	5	NATM	26k242	26k382	전단면굴착	3	NATM
24k742	24k822	반단면굴착	4	NATM	26k382	26k482	반단면굴착	4	NATM
24k822	24k982	전단면굴착	3	NATM	26k482	26k542	반단면굴착	5	NATM
24k982	25k142	전단면굴착	2	NATM	26k542	26k647	반단면굴착	6	NATM



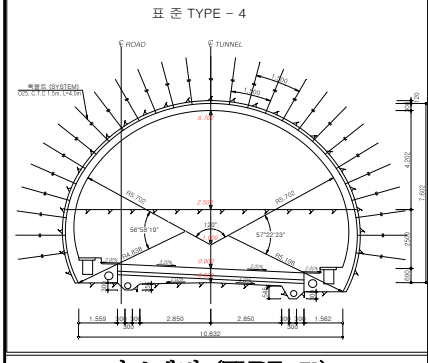
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)	
경암	숏크리트 : 5cm



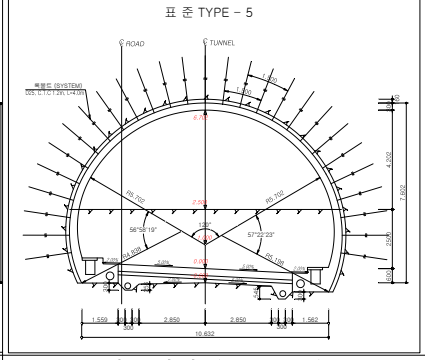
지보패턴 (TYPE-Ⅱ)	
보통암	숏크리트 : 5cm



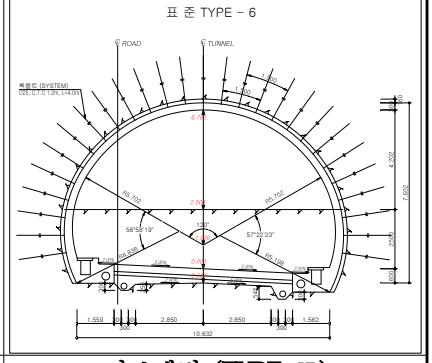
지보패턴 (TYPE-Ⅲ)	
연암	숏크리트 : 8cm



지보패턴 (TYPE-Ⅳ)	
풍화암	숏크리트 : 12cm



지보패턴 (TYPE-Ⅴ)	
풍화암(토)	숏크리트 : 16cm



지보패턴 (TYPE-Ⅵ)	
갱구부	숏크리트 : 16cm

1.1.2 지형 및 지질조건

가. 지형

본 조사지역은 행정구역상 경상남도 밀양시 삼랑진읍, 김해시 생림면 및 상동면 일대로서 태백산맥의 남단부에 해당된다.

본 조사지역의 지형은 해발 고도가 다소 높고 산사면의 경사가 매우 가파른 편이고 이를 암석분포에 관련지어 볼 때 일반적으로 화학적 풍화에 약한 심성암류의 분포지에 비하여 화산암류의 분포지가 험준한 편이며, 화산암류중에서도 본 조사지역에 주로 분포하는 유문암질 암류가 분포하는 지형이 더욱 험준하다.

산계는 능선의 방향은 규칙성이 없으나, 대체로 크게 보아 북북동 방향으로 발달한 향로봉(△727.0m), 금오산(△755.0m), 천태산(△630.9m) 및 무절산을 잇는 주능선이 있고 만어산에서 남서쪽이 음달산 및 매봉산으로 연결되는 환상 능선도 형성되어 있으며, 정규심칙윤회과정으로 볼 때 장년기말에서 노년기초에 해당하는 지형이다.

수계는 주 수류인 낙동강으로 아수지상 및 수지상의 수계망을 이루며 지수류인 밀양강으로 유입되어 주수류로 합류하나, 낙동강 유역에 발달한 여러 하천들은 직접 낙동강에 유입되고 있다.

그리고 주 수류인 낙동강은 폭이 평균 약 1km이고 하상의 표고가 해발 3m 내외이고 유속이 매우 느려서 지류인 밀양강과 만나는 지점에 다소 넓은 충적평야를 형성하여 농경지로 이용되고 있다.

나. 지층

본 조사의 지질은 중생대 백악기 경상누층군 유천층군에 속하는 주사산 안산암질 암류를 같은 층군의 운문사유문암질 암류들이 부분적으로 부정합으로 피복하였으며, 이들을 불국사 화강암류들이 관입하였고, 이를 제 4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

이들을 시대순으로 열거하면 주사산안산암질암류인 팔용산 응회암, 비반상안산암, 안산암질라필리응회암, 밀양안산암, 정각산층 및 범도리안산암을 지역에 따라 부정합으로 운문사유문암질암류인 응회각역암, 석영안산암질회류응회암, 유문암질강하응회암, 유문암질회류응회암, 화제리층, 강하응회암, 유문석영안산암질회류응회암 및 유문암이 피복하고 있고, 이들 불국사화강암류인 세립화강암섬록암, 각섬석흑운모화강암, 흑운모화강암 및 산성 암맥류가 관입하였으며 이를 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

본 지역은 하행기점 6km+248~8km+260의(총길이 2.012km)부근에 위치하는 구간으로서 N66~78W 방향을 향하며, 터널토피의 최대 두께는 약 304m이다.

1) 붕적층(Colluvium)

본 지층은 사면의 활동, 붕괴 및 기타 요인에 의하여 형성된 층으로서 조사지역 전역에 0.5~2.4m 내외의 두께로 분포하고 있으며, 대체로 실트 및 세립 내지 조립의 모래섞인 자갈, 소량의 자갈 및 세립 내지 조립의 모래섞인 실트로 구성되어 통일분류법에 의한 흙의 분류는 GP, GM 및 ML로 분류되고 지층의 상대밀도는 느슨 내지 매우 조밀한 상태이다.

2) 풍화토(Residual Soil)층

본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암이 풍화되어 원위치에 잔류되어 있는 지층으로서 시추공 No. TB-9의 위치에 4.8m 정도의 두께로 분포되어 있으며, 대체로 암편 및 실트섞인 세립 내지 조립의 모래로 구성되어 통일분류법에 의한 분류는 SM으로 분류되고 지층의 상대밀도는 매우 조밀한 상태이다.

3) 연암(Soft Rock)층

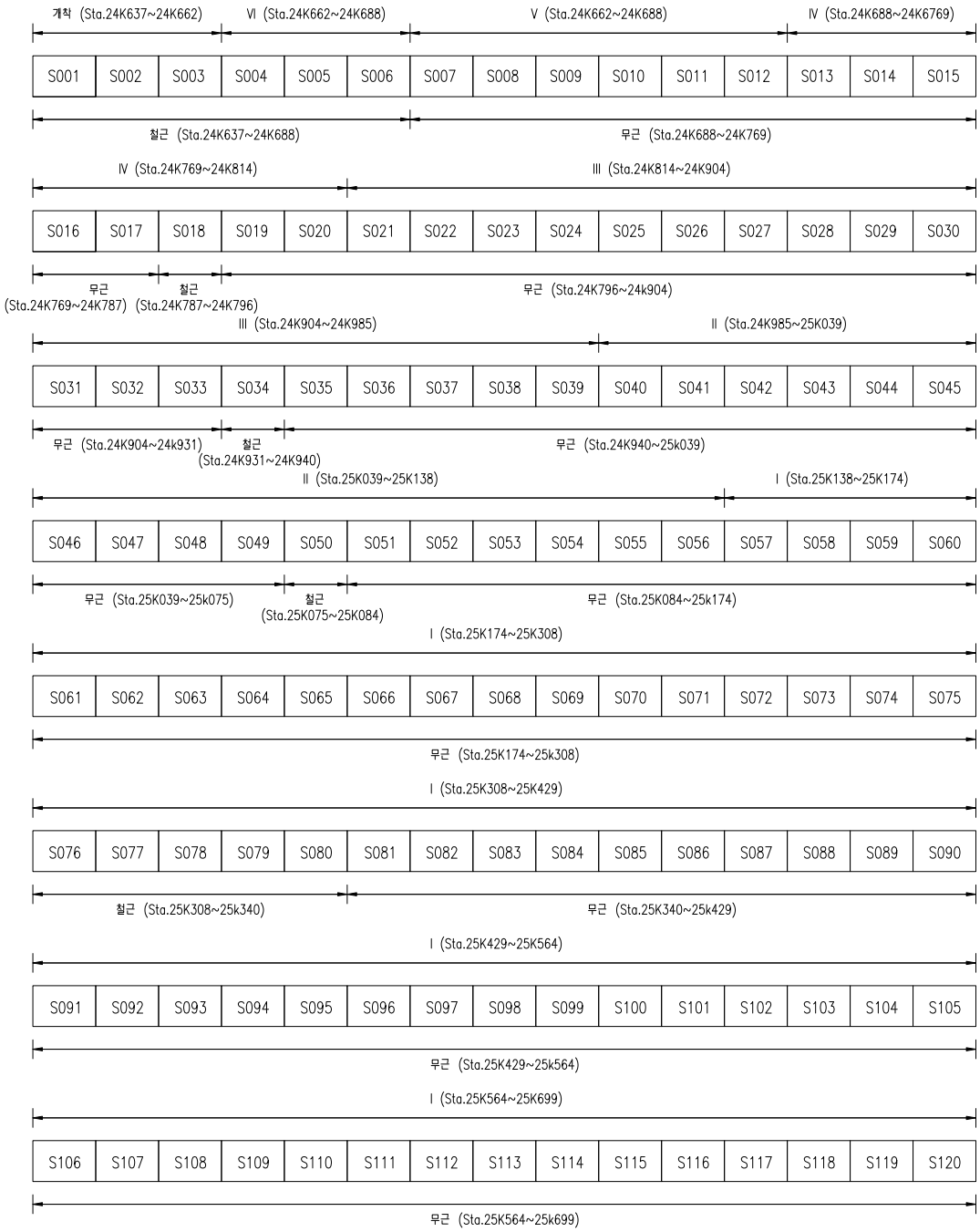
본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암의 부분적으로 풍화되어 형성된 지층으로서 시추공 No. TB-9, 10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 0.5~5.3m 내외의 심도에서 확인되고 있으며, 시추작업시 회수된 코아회수율은 10~100% 정도로 저조한 상태이고 R.Q.D는 0~21% 정도이다.

4) 경암(Hard Rock)층

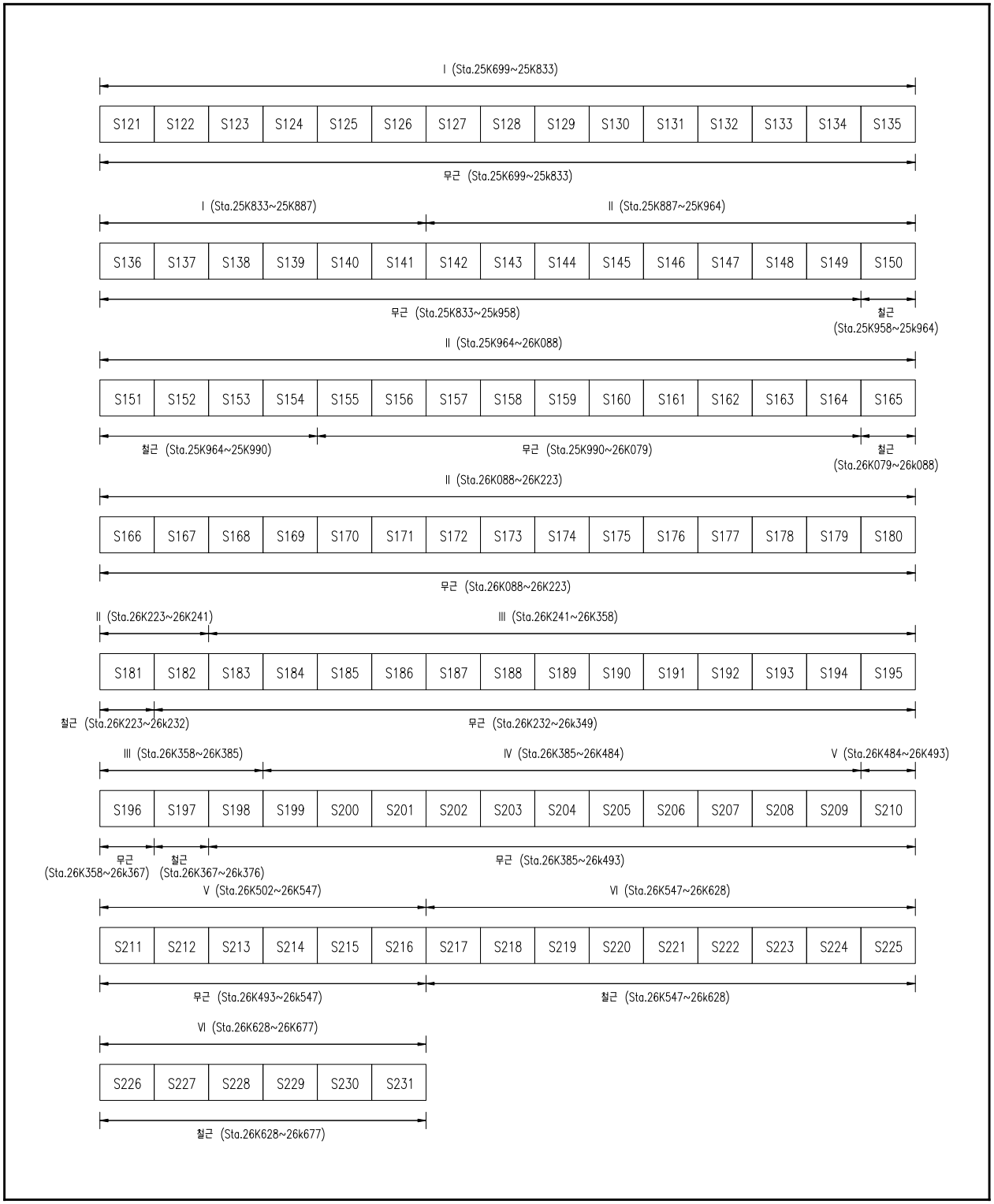
본 지층은 시추공 No. TB-10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 1.4~9.0m 내외의 심도에서 확인되고 있으며 시추작업시 회수된 코아회수율은 41~100% 정도이며 R.Q.D는 0%~100%이다.

1.1.3 현장조사 결과

무척산터널(대구방향)의 외관조사는 아래와 같이 구분하여 수행하였다.



【그림 1.1.1】Span별 시공현황



【그림 1.1.1】Span별 시공현황(계속)

【표 1.1.2】Span별 시공현황

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근
S1	24K637	24K644	7m	개착	-	철근	S38	24K967	24K976	9m	NATM	T-3	무근
S2	24K644	24K653	9m	개착	-	철근	S39	24K976	24K985	9m	NATM	T-3	무근
S3	24K653	24K662	9m	개착	-	철근	S40	24K985	24K994	9m	NATM	T-2	무근
S4	24K662	24K670	8m	NATM	T-6	철근	S41	24K994	25K003	9m	NATM	T-2	무근
S5	24K670	24K679	9m	NATM	T-6	철근	S42	25K003	25K012	9m	NATM	T-2	무근
S6	24K679	24K688	9m	NATM	T-6	철근	S43	25K012	25K021	9m	NATM	T-2	무근
S7	24K688	24K697	9m	NATM	T-5	무근	S44	25K021	25K030	9m	NATM	T-2	무근
S8	24K697	24K706	9m	NATM	T-5	무근	S45	25K030	25K039	9m	NATM	T-2	무근
S9	24K706	24K715	9m	NATM	T-5	무근	S46	25K039	25K048	9m	NATM	T-2	무근
S10	24K715	24K724	9m	NATM	T-5	무근	S47	25K048	25K057	9m	NATM	T-2	무근
S11	24K724	24K733	9m	NATM	T-5	무근	S48	25K057	25K066	9m	NATM	T-2	무근
S12	24K733	24K742	9m	NATM	T-5	무근	S49	25K066	25K075	9m	NATM	T-2	무근
S13	24K742	24K751	9m	NATM	T-4	무근	S50	25K075	25K084	9m	NATM	T-2	철근
S14	24K751	24K760	9m	NATM	T-4	무근	S51	25K084	25K093	9m	NATM	T-2	무근
S15	24K760	24K769	9m	NATM	T-4	무근	S52	25K093	25K102	9m	NATM	T-2	무근
S16	24K769	24K778	9m	NATM	T-4	무근	S53	25K102	25K111	9m	NATM	T-2	무근
S17	24K778	24K787	9m	NATM	T-4	무근	S54	25K111	25K120	9m	NATM	T-2	무근
S18	24K787	24K796	9m	NATM	T-4	철근	S55	25K120	25K129	9m	NATM	T-2	무근
S19	24K796	24K805	9m	NATM	T-4	무근	S56	25K129	25K138	9m	NATM	T-2	무근
S20	24K805	24K814	9m	NATM	T-4	무근	S57	25K138	25K147	9m	NATM	T-1	무근
S21	24K814	24K823	9m	NATM	T-3	무근	S58	25K147	25K156	9m	NATM	T-1	무근
S22	24K823	24K832	9m	NATM	T-3	무근	S59	25K156	25K165	9m	NATM	T-1	무근
S23	24K832	24K841	9m	NATM	T-3	무근	S60	25K165	25K174	9m	NATM	T-1	무근
S24	24K841	24K850	9m	NATM	T-3	무근	S61	25K174	25K183	9m	NATM	T-1	무근
S25	24K850	24K859	9m	NATM	T-3	무근	S62	25K183	25K192	9m	NATM	T-1	무근
S26	24K859	24K868	9m	NATM	T-3	무근	S63	25K192	25K201	9m	NATM	T-1	무근
S27	24K868	24K877	9m	NATM	T-3	무근	S64	25K201	25K210	9m	NATM	T-1	무근
S28	24K877	24K886	9m	NATM	T-3	무근	S65	25K210	25K219	9m	NATM	T-1	무근
S29	24K886	24K895	9m	NATM	T-3	무근	S66	25K219	25K228	9m	NATM	T-1	무근
S30	24K895	24K904	9m	NATM	T-3	무근	S67	25K228	25K237	9m	NATM	T-1	무근
S31	24K904	24K913	9m	NATM	T-3	무근	S68	25K237	25K246	9m	NATM	T-1	무근
S32	24K913	24K922	9m	NATM	T-3	무근	S69	25K246	25K255	9m	NATM	T-1	무근
S33	24K922	24K931	9m	NATM	T-3	무근	S70	25K255	25K264	9m	NATM	T-1	무근
S34	24K931	24K940	9m	NATM	T-3	철근	S71	25K264	25K273	9m	NATM	T-1	무근
S35	24K940	24K949	9m	NATM	T-3	무근	S72	25K273	25K282	9m	NATM	T-1	무근
S36	24K949	24K958	9m	NATM	T-3	무근	S73	25K282	25K291	9m	NATM	T-1	무근
S37	24K958	24K967	9m	NATM	T-3	무근	S74	25K291	25K300	9m	NATM	T-1	무근

【표 1.1.2】Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근
S75	25K300	25K308	8m	NATM	T-1	무근	S115	25K645	25K654	9m	NATM	T-1	무근
S76	25K308	25K314	6m	NATM	T-1	철근	S116	25K654	25K663	9m	NATM	T-1	무근
S77	25K314	25K320	6m	NATM	T-1	철근	S117	25K663	25K672	9m	NATM	T-1	무근
S78	25K320	25K328	8m	NATM	T-1	철근	S118	25K672	25K681	9m	NATM	T-1	무근
S79	25K328	25K334	6m	NATM	T-1	철근	S119	25K681	25K690	9m	NATM	T-1	무근
S80	25K334	25K340	6m	NATM	T-1	철근	S120	25K690	25K699	9m	NATM	T-1	무근
S81	25K340	25K348	8m	NATM	T-1	무근	S121	25K699	25K708	9m	NATM	T-1	무근
S82	25K348	25K357	9m	NATM	T-1	무근	S122	25K708	25K716	8m	NATM	T-1	무근
S83	25K357	25K366	9m	NATM	T-1	무근	S123	25K716	25K725	9m	NATM	T-1	무근
S84	25K366	25K375	9m	NATM	T-1	무근	S124	25K725	25K734	9m	NATM	T-1	무근
S85	25K375	25K384	9m	NATM	T-1	무근	S125	25K734	25K743	9m	NATM	T-1	무근
S86	25K384	25K393	9m	NATM	T-1	무근	S126	25K743	25K752	9m	NATM	T-1	무근
S87	25K393	25K402	9m	NATM	T-1	무근	S127	25K752	25K761	9m	NATM	T-1	무근
S88	25K402	25K411	9m	NATM	T-1	무근	S128	25K761	25K770	9m	NATM	T-1	무근
S89	25K411	25K420	9m	NATM	T-1	무근	S129	25K770	25K779	9m	NATM	T-1	무근
S90	25K420	25K429	9m	NATM	T-1	무근	S130	25K779	25K788	9m	NATM	T-1	무근
S91	25K429	25K438	9m	NATM	T-1	무근	S131	25K788	25K797	9m	NATM	T-1	무근
S92	25K438	25K447	9m	NATM	T-1	무근	S132	25K797	25K806	9m	NATM	T-1	무근
S93	25K447	25K456	9m	NATM	T-1	무근	S133	25K806	25K815	9m	NATM	T-1	무근
S94	25K456	25K465	9m	NATM	T-1	무근	S134	25K815	25K824	9m	NATM	T-1	무근
S95	25K465	25K474	9m	NATM	T-1	무근	S135	25K824	25K833	9m	NATM	T-1	무근
S96	25K474	25K483	9m	NATM	T-1	무근	S136	25K833	25K842	9m	NATM	T-1	무근
S97	25K483	25K492	9m	NATM	T-1	무근	S137	25K842	25K851	9m	NATM	T-1	무근
S98	25K492	25K501	9m	NATM	T-1	무근	S138	25K851	25K860	9m	NATM	T-1	무근
S99	25K501	25K510	9m	NATM	T-1	무근	S139	25K860	25K869	9m	NATM	T-1	무근
S100	25K510	25K519	9m	NATM	T-1	무근	S140	25K869	25K878	9m	NATM	T-1	무근
S101	25K519	25K528	9m	NATM	T-1	무근	S141	25K878	25K887	9m	NATM	T-1	무근
S102	25K528	25K537	9m	NATM	T-1	무근	S142	25K887	25K896	9m	NATM	T-2	무근
S103	25K537	25K546	9m	NATM	T-1	무근	S143	25K896	25K905	9m	NATM	T-2	무근
S104	25K546	25K555	9m	NATM	T-1	무근	S144	25K905	25K914	9m	NATM	T-2	무근
S105	25K555	25K564	9m	NATM	T-1	무근	S145	25K914	25K923	9m	NATM	T-2	무근
S106	25K564	25K573	9m	NATM	T-1	무근	S146	25K923	25K932	9m	NATM	T-2	무근
S107	25K573	25K582	9m	NATM	T-1	무근	S147	25K932	25K941	9m	NATM	T-2	무근
S108	25K582	25K591	9m	NATM	T-1	무근	S148	25K941	25K950	9m	NATM	T-2	무근
S109	25K591	25K600	9m	NATM	T-1	무근	S149	25K950	25K958	8m	NATM	T-2	무근
S110	25K600	25K609	9m	NATM	T-1	무근	S150	25K958	25K964	6m	NATM	T-2	철근
S111	25K609	25K618	9m	NATM	T-1	무근	S151	25K964	25K970	6m	NATM	T-2	철근
S112	25K618	25K627	9m	NATM	T-1	무근	S152	25K970	25K978	8m	NATM	T-2	철근
S113	25K627	25K636	9m	NATM	T-1	무근	S153	25K978	25K984	6m	NATM	T-2	철근
S114	25K636	25K645	9m	NATM	T-1	무근	S154	25K984	25K990	6m	NATM	T-2	철근

【표 1.1.2】Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근
S155	25K990	25K998	8m	NATM	T-2	무근	S194	26K340	26K349	9m	NATM	T-3	무근
S156	25K998	26K007	9m	NATM	T-2	무근	S195	26K349	26K358	9m	NATM	T-3	무근
S157	26K007	26K016	9m	NATM	T-2	무근	S196	26K358	26K367	9m	NATM	T-3	무근
S158	26K016	26K025	9m	NATM	T-2	무근	S197	26K367	26K376	9m	NATM	T-3	철근
S159	26K025	26K034	9m	NATM	T-2	무근	S198	26K376	26K385	9m	NATM	T-3	무근
S160	26K034	26K043	9m	NATM	T-2	무근	S199	26K385	26K394	9m	NATM	T-4	무근
S161	26K043	26K052	9m	NATM	T-2	무근	S200	26K394	26K403	9m	NATM	T-4	무근
S162	26K052	26K061	9m	NATM	T-2	무근	S201	26K403	26K412	9m	NATM	T-4	무근
S163	26K061	26K070	9m	NATM	T-2	무근	S202	26K412	26K421	9m	NATM	T-4	무근
S164	26K070	26K079	9m	NATM	T-2	무근	S203	26K421	26K430	9m	NATM	T-4	무근
S165	26K079	26K088	9m	NATM	T-2	철근	S204	26K430	26K439	9m	NATM	T-4	무근
S166	26K088	26K097	9m	NATM	T-2	무근	S205	26K439	26K448	9m	NATM	T-4	무근
S167	26K097	26K106	9m	NATM	T-2	무근	S206	26K448	26K457	9m	NATM	T-4	무근
S168	26K106	26K115	9m	NATM	T-2	무근	S207	26K457	26K466	9m	NATM	T-4	무근
S169	26K115	26K124	9m	NATM	T-2	무근	S208	26K466	26K475	9m	NATM	T-4	무근
S170	26K124	26K133	9m	NATM	T-2	무근	S209	26K475	26K484	9m	NATM	T-4	무근
S171	26K133	26K142	9m	NATM	T-2	무근	S210	26K484	26K493	9m	NATM	T-5	무근
S172	26K142	26K151	9m	NATM	T-2	무근	S211	26K493	26K502	9m	NATM	T-5	무근
S173	26K151	26K160	9m	NATM	T-2	무근	S212	26K502	26K511	9m	NATM	T-5	무근
S174	26K160	26K169	9m	NATM	T-2	무근	S213	26K511	26K520	9m	NATM	T-5	무근
S175	26K169	26K178	9m	NATM	T-2	무근	S214	26K520	26K529	9m	NATM	T-5	무근
S176	26K178	26K187	9m	NATM	T-2	무근	S215	26K529	26K538	9m	NATM	T-5	무근
S177	26K187	26K196	9m	NATM	T-2	무근	S216	26K538	26K547	9m	NATM	T-5	무근
S178	26K196	26K205	9m	NATM	T-2	무근	S217	26K547	26K556	9m	NATM	T-6	철근
S179	26K205	26K214	9m	NATM	T-2	무근	S218	26K556	26K565	9m	NATM	T-6	철근
S180	26K214	26K223	9m	NATM	T-2	무근	S219	26K565	26K574	9m	NATM	T-6	철근
S181	26K223	26K232	9m	NATM	T-2	철근	S220	26K574	26K583	9m	NATM	T-6	철근
S182	26K232	26K241	9m	NATM	T-2	무근	S221	26K583	26K592	9m	NATM	T-6	철근
S183	26K241	26K250	9m	NATM	T-3	무근	S222	26K592	26K601	9m	NATM	T-6	철근
S184	26K250	26K259	9m	NATM	T-3	무근	S223	26K601	26K610	9m	NATM	T-6	철근
S185	26K259	26K268	9m	NATM	T-3	무근	S224	26K610	26K619	9m	NATM	T-6	철근
S186	26K268	26K277	9m	NATM	T-3	무근	S225	26K619	26K628	9m	NATM	T-6	철근
S187	26K277	26K286	9m	NATM	T-3	무근	S226	26K628	26K637	9m	NATM	T-6	철근
S188	26K286	26K295	9m	NATM	T-3	무근	S227	26K637	26K646	9m	NATM	T-6	철근
S189	26K295	26K304	9m	NATM	T-3	무근	S228	26K646	26K655	9m	NATM	T-6	철근
S190	26K304	26K313	9m	NATM	T-3	무근	S229	26K655	26K664	9m	NATM	T-6	철근
S191	26K313	26K322	9m	NATM	T-3	무근	S230	26K664	26K673	9m	NATM	T-6	철근
S192	26K322	26K331	9m	NATM	T-3	무근	S231	26K673	26K677	4m	NATM	T-6	철근
S193	26K331	26K340	9m	NATM	T-3	무근							

가. 터널 주변 조사

터널은 상·하행선 분리터널이며 시점부는 Bell Mouh. 종점부는 면벽 형식의 갱문이 설치된 상태로, 상행선 구간의 갱문 및 사면, 배수 등 터널 주변부에 대해 점검을 실시하였으며 점검 결과는 다음과 같다.

① 사면 상태 점검 결과

- 우측면 터널 전면부 사면은 사면 높이가 낮고 식생이 양호한 상태이며 배면부 사면은 터널 시공을 위해 깎기 후 식생이 이루어진 상태로 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열, 집수지형 형성 등에 대해 주의 점검을 실시하였으며 점검결과, 일부 구간에 표면유실이 조사되었으나 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.

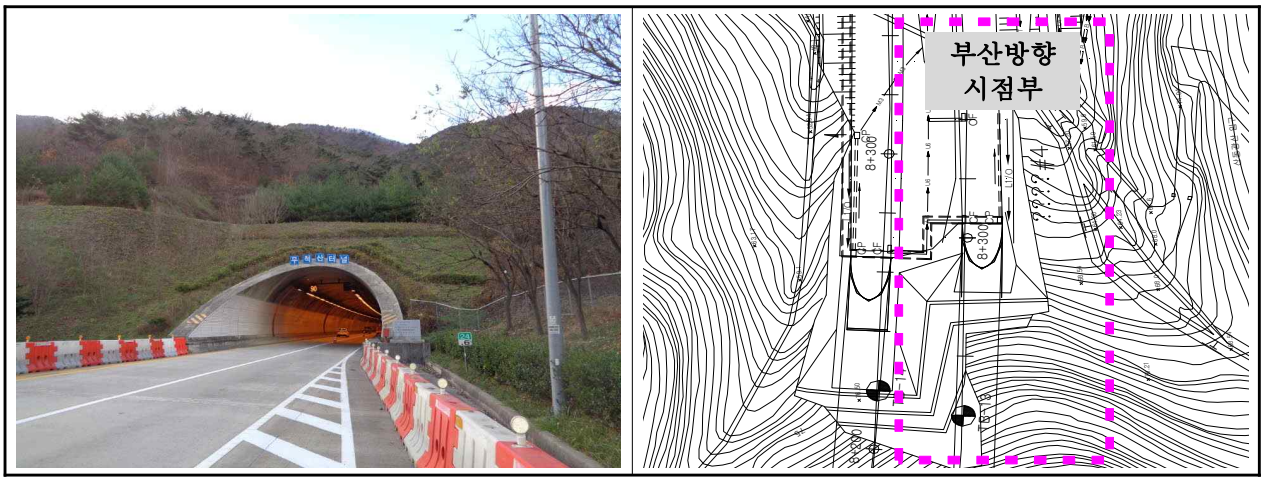
  사면의 부분적 표면유실은 사면의 안정화 단계에서 일어날 수 있는 손상으로 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.

② 갱문 주변부 점검 결과

- 갱문 출입구 및 주변부에 대한 조사결과, 갱문 출입구에 표면부 트임 균열이 발생하였으나 손상정도가 경미하여 주의관찰하고, 갱문 주변부는 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 25.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 U형 배수로가 설치되어 있어 배수로에 대한 점검을 실시하였으며 점검 결과, 균열, 이물질 퇴적 등의 손상이 조사되었다. 배수로에 발생된 손상은 일반적 손상으로 내구성 확보를 위해 균열부에 대해 주입보수를 실시하고, 이물질 퇴적 손상은 원활한 배수처리를 위해 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.3】터널 시점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	· STA.0+10m 2단 표층유실 A=20m*10m	주의관찰	
낙석위험	-	-	
배수시설	· 1소단배수로 균열 L=2m (2EA)	균열보수	
수 목	-	-	
기 타	· 갱문 표면부 트임균열	주의관찰	



우측 사면 식생 상태 양호



배면부 사면 표층유실



배면부 사면 표층유실



갱문 표면부 0.3㎜ 트임 균열

	
배수로 균열	배수로 이물질 퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태 점검 결과 표면유실, 배수로 균열 및 이물질 퇴적 등 일반적 손상 이외의 특이한 손상이 발생되지 않은 상태로 조사되었으나, 터널 주변부는 환경변화에 의해 예상치 못한 손상 발생 가능성이 존재하므로 주기적인 점검 및 유지관리가 이루어져야 하며 터널 주변부 발생 손상은 대부분 우수에 의한 손상으로 집수지형 형성 여부, 배수로 손상 상태 등에 대해 주의관찰이 필요하다.

2) 터널 종점부

① 사면 상태 점검 결과

- 터널 좌측 및 배면 사면 상부에 도로가 위치하고 있으며 도로 하부측은 깎기사면, 상부측은 자연사면으로 이루어져 있는 상태로 특이한 이상 징후는 조사되지 않았으나 일부 구간에 녹생토 유실 흔적, 식생불량, 표층유실이 조사되었다. 녹생토 유실 흔적은 기존 발생 손상으로 손상부 주변 식생 및 사면 상태 등을 고려할 때, 추가 손상 발생 가능성이 낮은 것으로 판단되며, 식생불량 및 표층유실은 손상 규모가 작고 경미하여 주의관찰이 바람직하다.
- 좌측 절토 사면부 일부 구간에 숏크리트 파손, 절리부 누수가 조사되어 추가 손상방지를 위해 숏크리트 파손부는 단면보수를 실시하고, 절리부 누수는 주의관찰이 바람직하다.

② 갱문 주변부 점검 결과

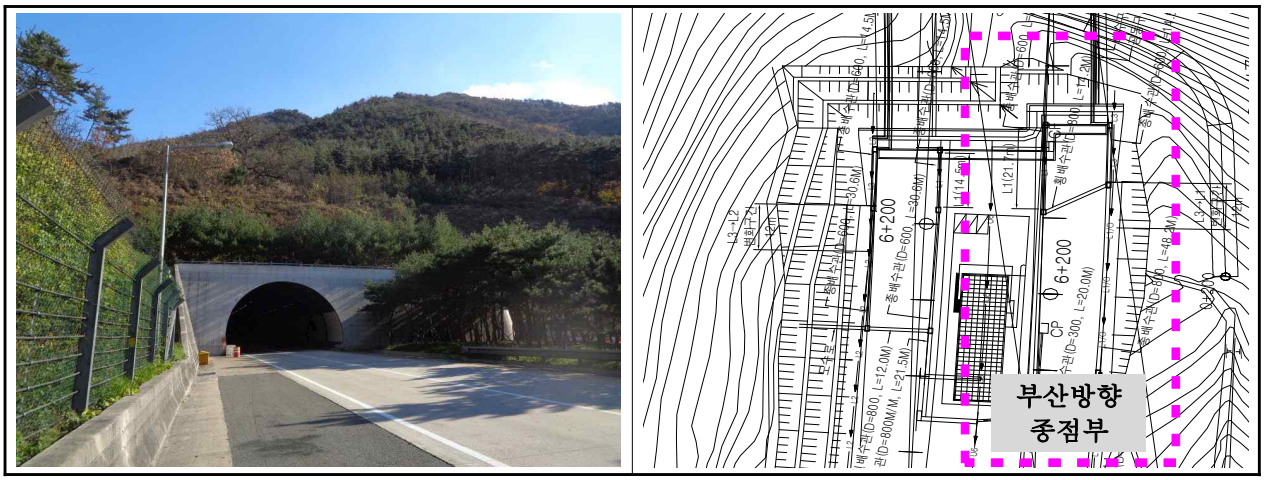
- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

③ 배수시설 점검 결과

- 종점부 터널은 면벽식 갱문으로 갱문 배면부에 배수로가 설치되어 있고 법면상단부에

산마루 측구가 설치된 상태로 초기 이물질 퇴적, 산마루 측구 파손, 균열, 체수가 조사되었다.

체수는 초기 이물질 퇴적에 의한 손상으로 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하며, 산마루 측구 파손, 균열부는 내구성 확보를 위해 보수가 필요하다.



【표 1.1.4】터널 종점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	· STA.0+70m 2단 녹생토 유실 및 누수 A=20m*3m · STA.0+90m 상단부 표층유실 A=10m*2m · STA.0+110m 자연사면 표층유실 A=5m*5m · STA.0+175~+200m 상단부 표층유실 A=25m*1m · STA.0+190m 3단 식생불량 및 표층유실 A=10m*5m · STA.0+305m 1단 녹생토유실 A=10m*10m	주의관찰 주의관찰 주의관찰 주의관찰 주의관찰 주의관찰	
낙석위험	· STA.0+145m 1단 심한풍화 · STA.0+245m 1단 숏크리트 파손 A=10m*5m	주의관찰 단면보수	
배수시설	· STA.0+285m 산마루측구 체수 L=10m · STA.0+175m 산마루측구 파손 A=0.1m*1.5m · 산마루측구 균열 L=3.0m (2EA)	정비 단면보수 균열보수	
수 목			
기 타	· STA.0+130m 1단 절리부 누수	주의관찰	



사면 내 녹생토 유실 흔적



사면부 표층유실

	
갱문상태 양호	배수로내 이물질 초기퇴적
	
절리부 누수	산마루 측구 체수

④ 점검 의견

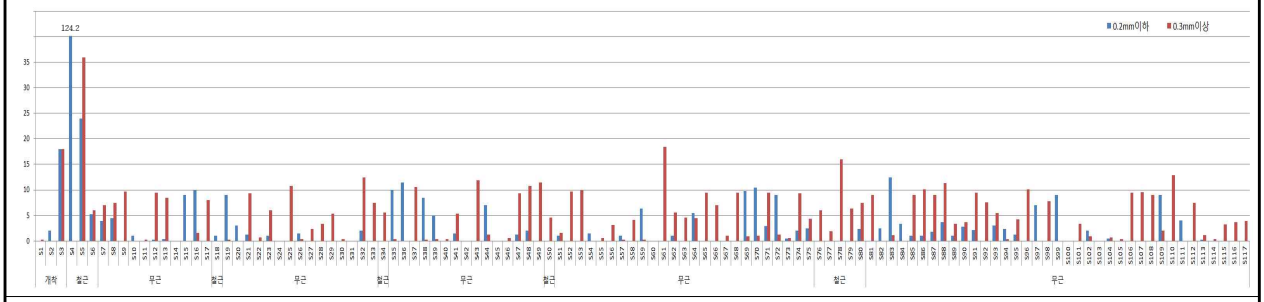
터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 녹생토 유실 흔적 등 일반적 손상 이외의 특이한 손상이 발생되지 않은 상태로 조사되었으나, 터널 주변부는 환경변화에 의해 예상치 못한 손상 발생 가능성이 존재하므로 주기적인 점검 및 유지관리가 이루어져야 하며 터널 주변부 발생 손상은 대부분 우수에 의한 손상으로 집수지형 형성여부, 배수로 손상 상태 등에 대해 주의관찰이 필요하다.

나. 콘크리트 라이닝

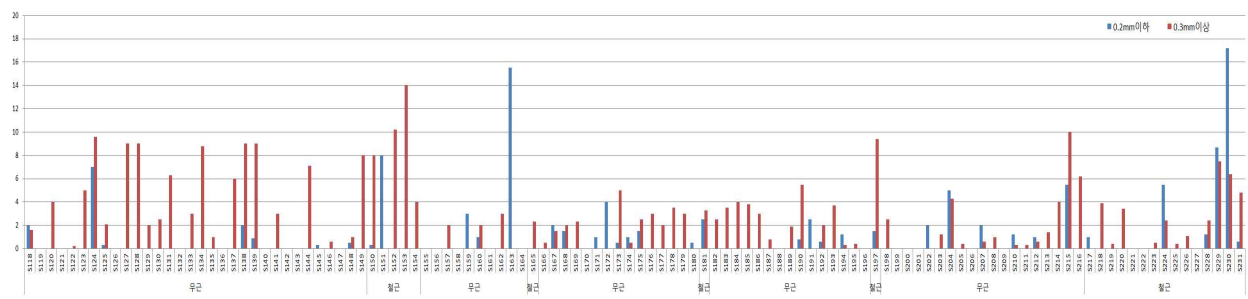
1) 균열

무척산터널(대구방향)은 중앙부(Span.No.078, 152)에 비상주차대 및 피난연결통로가 위치하고 있으며, 토질조사 보고서 검토 결과, Span.No.162～166, Span.No.203～206 구간에 약대(소규모 파쇄대)가 위치하는 것으로 조사되어 터널의 지반조건, 지보타입별, 단면 형식별 균열 발생 빈도수를 비교하여 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석하였으며 분석 결과, 지형적, 구조적으로 불리한 특정 위치에 균열밀도가 집중되지 않고 다양하게 분포하여 터널에 발생된 균열은 시공시 거푸집 탈형시기, 온도 및 건조수축 등 복합적인 시공적·환경적 요인에 의해 발생된 균열로 판단된다.

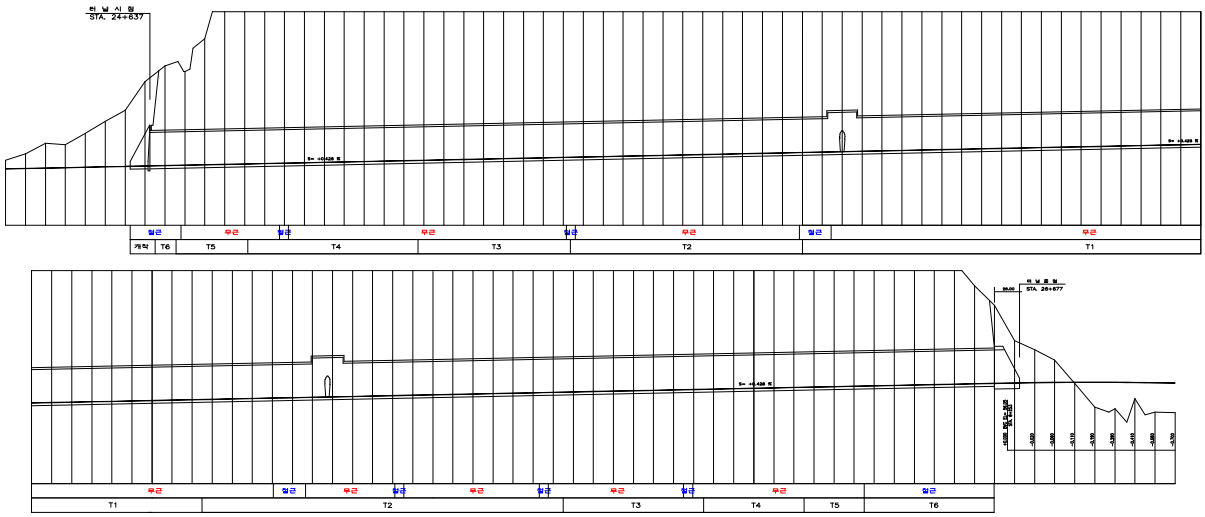
▸NATM구간 터널 전반부(S9~S61)



▸NATM구간 터널 전반부(S62~S112)



▸라이닝 및 지보패턴 구분



· 설계도서 검토결과 Span.No.0162～166, Span.No.203～206에 약대(소규모 파쇄대)가 위치함.

• 총 균열발생 연장을 지보패턴별로 분류한 결과 NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다.

• 비상주차대 및 피난연결통로 위치(Span.No.076～080, Span.No.150～154)의 확폭구간, NATM부 철근 배근 구간에서는 전반적으로 균열밀도가 높지 않으며, 1개소의 Span(S153)과 갱구부 측에 균열 밀도가 높게 나타났다.

• NATM 구간의 균열은 Span.No.123～163 구간에서 높게 나타났으나 확폭구간, 지반불량 구간 등 특정 위치에 균열이 집중되지 않고 임의 구간에 균열 발생 밀도가 높은 점을 고려할 때, 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 균열이 발생된 것으로 조사되었다.

• NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 확폭으로 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 지반 이완에 의한 구조적 손상보다는 시공적·환경적 요인에 의한 비구조적 손상으로 판단된다.

• 갱구부 구간의 균열은 일정 간격으로 종방향 균열이 발생되어 균열밀도가 높게 나타났다.

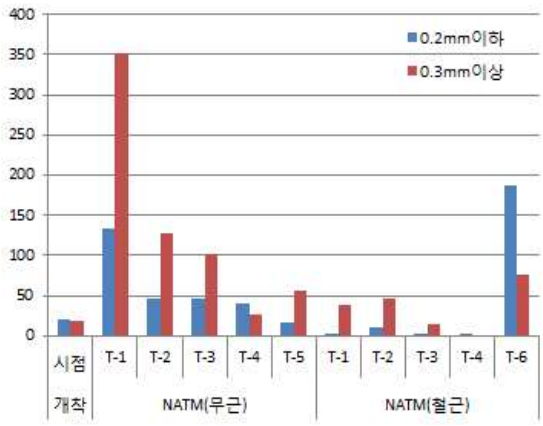
【표 1.1.5】지보패턴별 균열발생 빈도

• **지보패턴별 전체 균열발생 연장**

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근					철근				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-1	T-3	T-4	T-5	T-6
균열 총연장(m)	38.3	485.4	174.6	147.4	66.3	74.1	40.1	57.2	16.5	1.0	262.8
지보타입 연장(m)	25	717	448	297	162	117	32	59	18	9	156
단위 m당 균열연장(m)	1.5	0.7	0.4	0.5	0.4	0.6	1.3	1.0	0.9	0.1	1.7
비율(%)	2.8	35.6	12.8	10.8	4.9	5.4	2.9	4.2	1.2	0.1	19.3

• **지보패턴별 폭 0.3㎜이상 균열발생 연장**

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근					철근				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-1	T-3	T-4	T-5	T-6
균열 총연장(m)	18.3	352.2	128.1	101.6	25.9	56.7	37.7	46.4	15	-	75.2
지보타입 연장(m)	25	717	448	297	162	117	32	59	18	9	156
단위 m당 균열연장(m)	0.7	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5	1.2	0.8	0.8	-	0.5
비율(%)	2.1	41.1	14.9	11.9	3.0	6.6	4.4	5.4	1.8	-	8.8



【표 1.1.6】 전체 균열발생 현황

구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	3	20	3	18.3	6	38.3
NATM (무근)	T-1	58	133.2	152	352.2	210	485.4
	T-2	25	46.5	67	128.1	92	174.6
	T-3	16	45.8	48	101.6	64	147.4
	T-4	11	40.4	16	25.9	27	66.3
	T-5	13	17.4	29	56.7	42	74.1
NATM (철근)	T-1	2	2.4	16	37.7	18	40.1
	T-2	4	10.8	16	46.4	20	57.2
	T-3	1	1.5	10	15	11	16.5
	T-4	1	1.0	-	-	1	1.0
	T-6	46	187.6	40	75.2	86	262.8
총합계		180	506.6	397	857.1	577	1363.7

① 천단부 종방향 균열

- NATM 구간 종방향 균열은 대부분 천단부 및 Span 연단부에서 발생된 균열로 지반 및 구조적으로 불리한 특정 위치에 균열이 집중되지 않고, 균열 위치 및 형태도 터널에 일반적으로 나타나는 형태의 균열로, 지반이완 하중에 의한 손상보다는 시공초기 거푸집 탈형시기, 거푸집 제거 후 터널내 온도 및 습도, 여굴에 따른 불규칙한 라이닝 단면 등 여러 원인에 의해 초기 균열이 발생되고, 라이닝의 불연속 시공에 의한 응력 흐름 단절로 인해 균열이 확대, 발전된 형태의 손상으로 내구성 확보를 위해 균열주입보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대·진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.



천단부 종균열(0.3㎜)-S138(무근)



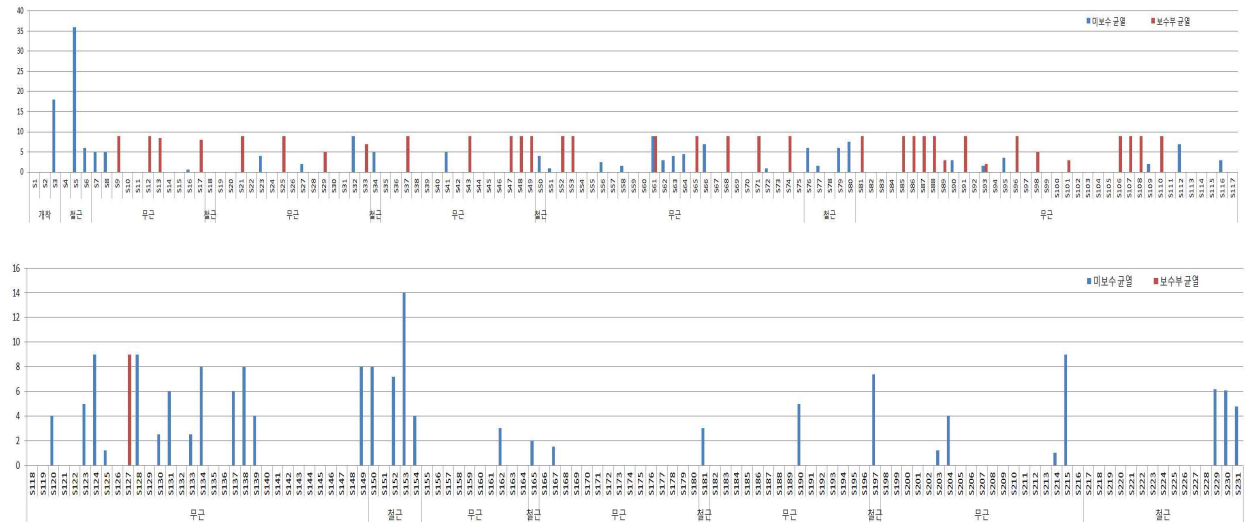
천단부 종균열(cw=0.3㎜)-S9(무근)

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1)

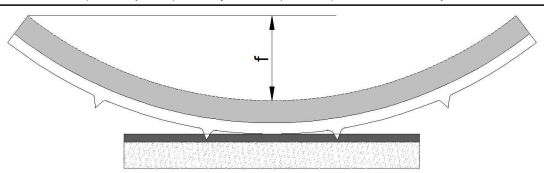
	
개착부 종균열(cw=0.3㎜)-S5(철근)	개착부 종균열(cw=0.3㎜)-S80(철근)

【사진 1.1.1】라이닝 외관조사 결과(1),(계속)

● 외관조사 결과
- NATM구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 132개소, 610.5m)
- 개착구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 2개소, 18.0m)



● 원인 및 관리방안
- 발생원인
① 무근콘크리트 : 현장조사 및 자료검토 결과 구조적 균열일 가능성이 낮으며 건조수축, 온도변화 등의 콘크리트의 재료적인 특성이 원인인 것으로 판단됨.



온도변화에 따라 터널 라이닝면(사용공간쪽)은 수축하고 반대편은 변형하지 않아 라이닝 콘크리트는 아래 그림과 같이 휘어지려 하나 변형이 구속되어 힘뿐만 아니라 축방향 변형구속에 의한 구속응력이 발생되어 종균열이 발생됨.

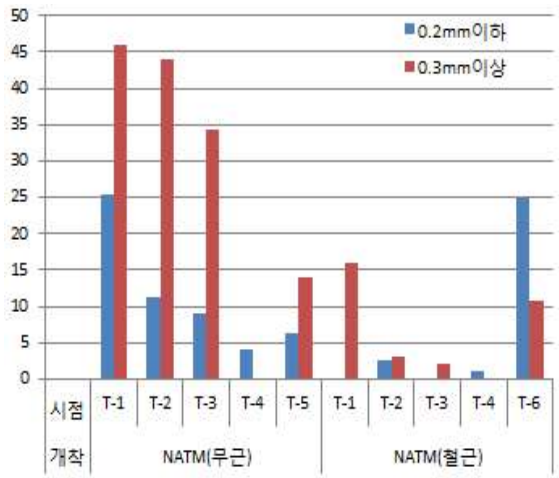
② 철근콘크리트 : 거푸집 탈형 후 터널 내 습도, 온도, 바람 등 여러 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고 홀 및 Span연단부 등 불연속 구간에 의해 균열이 확대·진행된 손상으로 판단됨.

- 관리방안
① 천단부 종균열은 비구조적 균열로 구조물의 안전에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되나, 균열은 터널 내 오염물질로 인해 손상확대 가능성이 있으므로 균열 폭 0.3㎜ 이상의 균열에 대해서는 주입공법을 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직함.

② 천단부 횡방향 균열

• 천단부에서 발생된 횡방향 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며, 일정한 형태가 없이 불규칙하게 발생된 균열로, 건조수축 및 대단면 터널의 콘크리트 타설시 타설 흐름부에서 발생된 비구조적 손상으로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.

【표 1.1.7】 횡방향 균열발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	-	-	-	-	-	-
NATM (무근)	T-1	21	25.5	31	46.0	52	71.5
	T-2	12	11.2	25	44.0	37	55.2
	T-3	6	9.0	16	34.2	22	43.2
	T-4	4	4.0	-	-	4	4.0
	T-5	4	6.2	7	14.0	11	20.2
NATM (철근)	T-1	-	-	6	16.0	6	16.0
	T-2	1	2.5	1	3.0	2	5.5
	T-3	-	-	2	2.0	2	2.0
	T-4	1	1.0	-	-	1	1.0
	T-6	13	24.9	7	10.8	20	35.7
총합계		61	84.3	95	170	156	254.3



라이닝 횡균열(Cw=0.3㎜)-S78(철근)



천단부 횡균열(Cw=0.2㎜)-S87(무근)

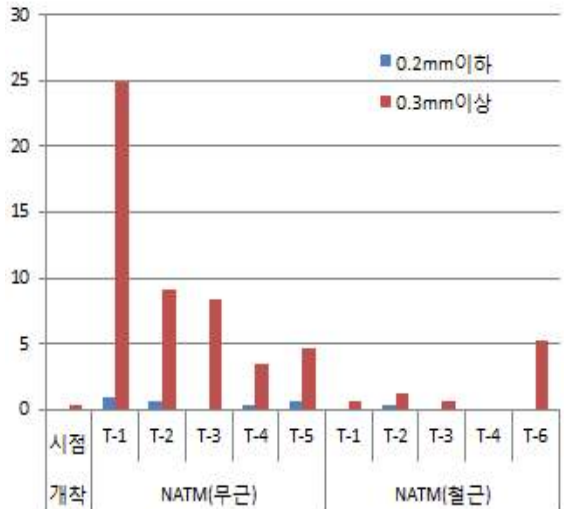
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2)

③ 측벽부 수직균열 및 망상균열

• 측벽부에서 발생된 균열은 수직형태의 균열로 발생 빈도가 낮고 균열이 짧고 연속성이 없어 온도 및 건조수축에 의해 발생된 비구조적 균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.

• 터널에 발생된 망상균열은 양생미흡에 의한 건조수축 균열로 미관 및 내구성 확보를 위해 표면보수가 바람직하다.

【표 1.1.8】측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		망상균열	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(㎡)
개착	시점	-	-	1	0.3	-	-
NATM (무근)	T-1	3	1.0	69	24.9	-	-
	T-2	2	0.6	28	9.1	-	-
	T-3	-	-	23	8.4	-	-
	T-4	1	0.4	11	3.5	1	6.00
	T-5	2	0.6	14	4.7	-	-
NATM (철근)	T-1	-	-	2	0.6	-	-
	T-2	1	0.3	4	1.2	1	4.50
	T-3	-	-	2	0.6	-	-
	T-4	-	-	-	-	-	-
	T-6	-	-	14	5.3	-	-
총합계		9	2.9	168	58.6	2	10.50

2) 누수 및 백태

무척산터널(대구방향)의 경우 누수 및 백태는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

3) 단면손상(철근노출)

개착터널, Jet Fan, 피난연락갱 등 철근이 배근된 구간에 대해 철근노출에 의한 단면손상 발생여부에 대해 점검 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

4) 단면손상(비철근노출)

터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등의 단면 손상이 조사되었다.

- 신축이음 주변부에 들뜸, 박락 등의 단면손상은 시공시 충분한 양생 미흡, 주변 온도변화에 의한 수축 팽창의 반복 등 시공 및 환경적 요인에 의한 신축이음부의 Span 연단 모서리부 손상으로 들뜸부 콘크리트 낙하시 하부 이용차량에 사고발생 가능성이 높아 이용차량의 안전성을 고려하여 들뜸부 제거가 필요하고, 구조물의 미관 및 내구성을 고려하여 손상부에 대한 단면보수 실시가 바람직하다.

  터널내 단면 손상부는 기타 손상부와 달리 재 손상 발생시 하부 이용자의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있어 정밀 주의 시공이 필요하며 보수 후, 주기적인 점검이 필요하다.

【표 1.1.9】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

발생위치 / 손상내용	천단부	좌벽체	우벽체	합 계
들뜸(㎡/개소)	3.95/76	-	-	**3.95/76**
박락(㎡/개소)	0.20/9	0.10/2	0.31/9	**0.61/20**

【표 1.1.10】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	손상내용	Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	손상내용
S9	천단부	T-5	1	0.06	들뜸	S87	천단부	T-1	2	0.06	들뜸
S11	천단부	T-5	2	0.08	들뜸	S93	천단부	T-1	1	0.04	들뜸
S12	천단부	T-5	1	0.03	들뜸	S109	천단부	T-1	1	0.02	들뜸
S14	천단부	T-4	1	0.03	보수부 들뜸	S113	천단부	T-1	1	0.01	박락
S21	천단부	T-3	1	0.16	들뜸	S116	천단부	T-1	1	0.04	들뜸
S23	천단부	T-3	3	0.03	들뜸	S117	천단부	T-1	1	0.14	보수부 들뜸
S26	천단부	T-3	1	0.08	들뜸	S124	천단부	T-1	1	0.02	들뜸
S26	천단부	T-3	1	0.04	들뜸	S126	천단부	T-1	1	0.02	들뜸
S28	천단부	T-3	1	0.12	보수부 들뜸	S128	천단부	T-1	1	0.24	들뜸
S29	천단부	T-3	1	0.08	들뜸	S138	천단부	T-1	1	0.04	들뜸
S31	천단부	T-3	1	0.06	들뜸	S140	천단부	T-1	1	0.06	들뜸
S31	천단부	T-3	1	0.08	들뜸	S142	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S31	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S148	천단부	T-2	1	0.02	박락
S32	천단부	T-3	2	0.16	들뜸	S148	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S32	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S162	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S33	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S164	천단부	T-2	1	0.01	박락
S33	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S167	천단부	T-2	1	0.01	박락
S35	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S171	천단부	T-2	3	0.06	들뜸
S36	천단부	T-3	1	0.04	박락	S174	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
S39	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S177	천단부	T-2	1	0.12	들뜸
S40	천단부	T-2	3	0.18	들뜸	S182	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
S45	천단부	T-2	1	0.03	들뜸	S183	천단부	T-3	1	0.03	들뜸
S46	천단부	T-2	1	0.01	들뜸	S184	천단부	T-3	1	0.10	들뜸
S50	천단부	T-2	1	0.02	들뜸	S186	천단부	T-3	2	0.08	보수부 들뜸
S50	천단부	T-2	1	0.02	들뜸	S193	천단부	T-3	2	0.04	들뜸
S51	천단부	T-2	2	0.16	들뜸	S205	천단부	T-4	1	0.04	들뜸
S52	천단부	T-2	1	0.02	들뜸	S207	천단부	T-4	1	0.02	들뜸
S73	천단부	T-1	1	0.03	들뜸	S208	천단부	T-4	1	0.08	들뜸
S73	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S212	천단부	T-5	2	0.08	들뜸
S74	천단부	T-1	1	0.06	들뜸	S212	천단부	T-5	1	0.02	박락
S74	천단부	T-1	1	0.08	들뜸	S215	천단부	T-5	2	0.06	들뜸
S74	천단부	T-1	3	0.09	박락	S215	천단부	T-5	1	0.14	들뜸
S77	천단부	T-1	1	0.40	들뜸	S219	천단부	T-6	1	0.08	들뜸
S81	천단부	T-1	1	0.01	들뜸	S229	천단부	T-6	1	0.02	들뜸
S83	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	합 계			85	4.15	-

	
신축이음부 들뜸-S09, 어깨부	신축이음부 보수부 들뜸-S28, 천단부
	
신축이음부 박락-S148, 천단부	신축이음부 박락-S26, 벽체부

【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3)

5) 기타(타일, 표면오염 손상)

- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.
- 표면오염 손상은 시점측 Bell Mouth 절개면에 우수 유입에 의해 발생된 손상이나 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하며 향후, 손상증대시 표면보수가 필요하다.

【표 1.1.11】기타 손상 발생 현황

발생위치 / 손상내용	시점측 Bell Mouth	좌벽체	우벽체	합 계
타일균열(개소)	-	229	240	469
타일탈락/파손(개소)	-	-	11	11
표면오염(㎡/개소)	60.00/1	-	-	60.00/1



타일파손-S9



타일탈락-S189



타일균열-S75



표면오염-S2, 벽체부

【사진 1.1.4】기타 손상 외관조사 결과

다. 공동구

좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구는 전기설비, 통신설비 등을 공동으로 수용하여 설비 시설에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 점검결과, 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 파손, 공동구 벽체 타일 균열/파손 등의 손상이 조사되었다.

- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 설비 유지관리, 긴급 점검 및 복구시, 이동로로 활용할 수 있어 점검자 안전 이동 및 원활한 유지관리를 위해

보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.

- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜ 이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 단면보수 실시가 바람직하다.
- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.12】공동구 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비 고
균열(0.2㎜이하),(m/개소)	온도 및 건조수축	2.1/6	주의관찰	-
균열(0.3㎜이상),(m/개소)	온도 및 건조수축	7.2/20	주입보수	-
공동구 덮개 파손(개소)	외부충격 등	8	재설치	-
타일 균열(개소)	외부충격 등	5	주의관찰	-
타일 파손/탈락(개소)	외부충격 등	25	주의관찰	-



공동구 벽체 타일 파손-S14



공동구 벽체 타일 파손-S142



덮개 파손-S87



덮개 파손-S122

【사진 1.1.5】공동구 외관조사 결과

	
균열-S206	균열-S214

【사진 1.1.5】 공동구 외관조사 결과(계속)

라. 배수시설

1) 배수시스템

무척산터널(대구방향)은 배수터널로 터널 배면부 지하수가 측벽 하단 유공관(Ø100)을 통해 스파이럴 씸닥트(Ø300)관으로 유입되어 외부로 배수토록 계획되어 있으며 터널 포장면의 유입 우수는 측구를 통해 집수구에 집수되고 스파이럴 씸닥트(Ø300)관을 통해 외부로 배수토록 계획되어져 있다

2) 조사결과

배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검을 실시하고, 그 외 구간은 도보에 의해 누수발생, 누수흔적 손상 조사로 배수처리 시설에 대한 건전성을 확인하였으며, 점검 결과 대부분 양호한 것으로 조사되었으나, 집수구에는 대부분 이물질 퇴적이 조사되었다

• 배수구는 좌·우 각 39개소씩 총 78개소가 설치되어 있으며, 이물질 퇴적은 포장부의 이물질이 유입되어 퇴적된 손상으로 전 구간에서 조사되었으며, 원활한 배수 처리를 위해 관리주체의 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.13】 배수시설 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비고
집수구 토사퇴적(㎥/개소)	이물질 및 토사유입	9.15/47	청소실시	-

	
이물질 퇴적(토사)-S4	이물질 퇴적(토사)-S176

【사진 1.1.6】배수시설 외관조사 결과

마. 도로부(포장면)

무척산터널(대구방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 미끄럼방지를 위해 횡방향 그루빙(Grooving)이 시공되어져 있고 일정 간격의 신축이음이 설치되어 있는 상태로 포장면에 대한 점검 결과, 스캘링, 스폴링, 보수미흡, 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.

- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 차량통행시 요철에 의한 주행성이 저하되고 공용증가에 따라 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 보수미흡 손상은 균열부 주입을 실시하였으나 일부 구간에 콘크리트면과 주입재 경계면이 부착되지 않아 발생된 손상으로 손상정도가 경미하여 주의관찰 후, 손상 확대시 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 포장면 망상균열은 건조수축에 의한 경미한 손상으로 주의관찰이 바람직하며, 균열은 초기 발생 균열이 공용증가 및 차량 하중작용에 의해 확대·진행된 손상으로 차량하중에 의해 지속적 손상확대가 우려되므로 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

【표 1.1.14】도로부(포장면) 손상발생 현황

손상내용		원인	수량	조치방안	비고
포장부 (LMC)	균열(m/개소)	온도 및 건조수축	24.3/13	주입보수	
	망상균열(㎡/개소)	온도 및 건조수축	4.0/1	주의관찰	
	스캘링(㎡/개소)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	59.78/33	주의관찰	-
	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	13.96/224	주의관찰	-
	균열보수미흡(m/개소)	보수불량	3.50/1	주의관찰	
길어깨부	균열(m/개소)	온도 및 건조수축	0.6/2	주입보수	-
	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	0.16/2	주의관찰	

	
스켈링-S7	신축줄눈부 스폴링-S19
	
스폴링-S19	균열-S8
	
균열부 보수미흡-S16	보수부 망상균열-S188

【사진 1.1.7】 도로부 외관조사 결과

바. 부대시설

1) 현황

무척산터널(대구방향)은 터널 2개소에 비상주차대(Span.No.076~080, No.150~154)와 피난연결통로(Span.No.078, No.152)가 위치하고 있으며, 제트팬은 비상주차대 기준 전반부 3대, 후반부 3대로 총 6대가 설치되어 있다.

또한 터널내 사고 발생시 안전 대피 및 비상연락이 가능토록 표지판, 소화시설, 비상전화 등이 설치되어 있고 안전운전을 위해 조명시설이 설치되어 있는 것으로 조사되었다.



[Jet Fan 설치 전경]



[소화전 전경]



[피난연결통로 전경]



[조명시설 전경]



[긴급전화 설치 전경]



[비상구 표지판 전경]

【사진 1.1.8】 부대시설 현황

2) 조사결과 및 점검의견

피난연결통로 및 제트팬, 소화전, 조명시설 및 안전표지판 등 터널내부의 부대 시설에 대한 조사 결과, 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 피난연결통로 일부 구간에 시공미흡에 의한 철근노출 및 균열이 조사되어 내구성 확보를 위해 단면보수 및 균열주입보수 실시가 필요한 것으로 조사되었다.

【표 1.1.15】부대시설 손상발생 현황

구 분		원인	수량	조치방안	비고
횡갱1	라이닝 균열(0.2㎜이하)	온도 및 건조수축	5.8/4	주의관찰	-
	라이닝 균열(0.3㎜이상)	온도 및 건조수축	12.0/4	주입보수	-
	바닥판 균열(0.3㎜이상)	온도 및 건조수축	5.0/2	주입보수	-
	철근노출	철근피복두께 부족	10.00/1	단면보수	-
횡갱2	바닥판 균열(0.3㎜이상)	온도 및 건조수축	5.0/2	주입보수	-



철근노출-횡갱1, 벽체부



바닥판 균열-횡갱1, 포장부

【사진 1.1.9】부대시설 외관조사 결과

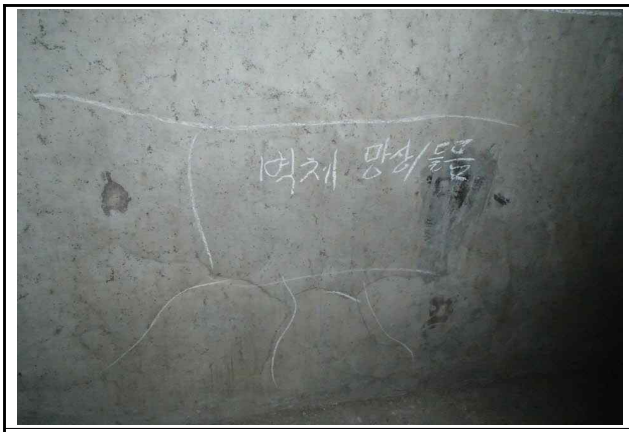
사. 부속시설(옥외공동구)

옥외공동구는 관리동과 터널 구간의 설비시설이 통과하는 시설물로 옥외공동구에 대한 조사 결과, 균열, 균열/누수/백태, 몰탈 망상균열/들뜸, Joint 누수, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 등의 손상이 조사되었다.

- 공동구에 발생된 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 균열/누수/백태 손상은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하며, 몰탈 망상균열/들뜸은 보수불량에 의한 손상으로 재보수가 바람직하다.
- Joint 누수는 신축이음부 누수로 내구성 확보를 위해 실링보수가 바람직하며, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 손상은 공동구 연결을 위한 개구부를 통한 손상으로 표면처리가 바람직하다.

【표 1.1.16】옥외공동구 손상발생 현황

구 분	원인	수량	조치방안	비고
Joint부 누수	시공미흡	2.0m/1개소	실링보수	
균열(0.2㎜이하)	온도 및 건조수축	118.1m/21개소	표면처리	
망상균열	온도 및 건조수축	7.62㎡/2개소	표면처리	
균열/누수/백태	온도 및 건조수축	1.6m/3개소	표면처리	
누수/백태	개구부 우수유입	1.71㎡/23개소	표면처리	
몰탈 망상균열/들뜸	시공미흡	5.89㎡/1개소	표면처리	
우수유입(개구부)	개구부 우수유입	4.00㎡/4개소	표면처리	
체수	개구부 우수유입	20.00㎡/2개소	주의관찰	
조명덮개 파손/탈락	외부충격	3개소	주의관찰	



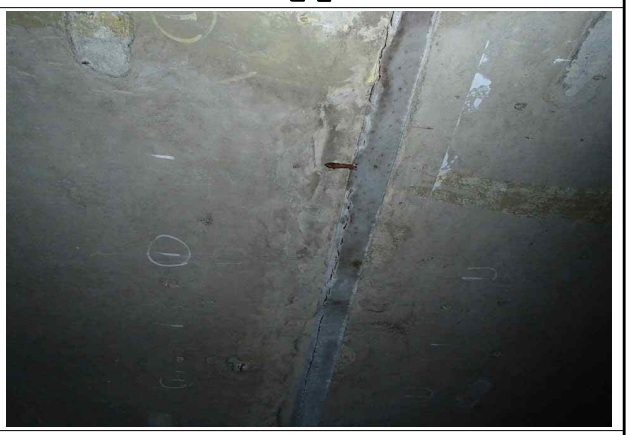
망상균열/들뜸



균열



벽체 균열/백태



Joint부 누수



공동구 연결홀 우수유입



공동구 연결홀하부 체수

【사진 1.1.10】옥외공동구 외관조사 결과

아. 외관조사 결과

무척산터널(대구방향)은 금회 준공 후 10년 이내 실시하는 최초 진단으로 금회 외관조사 결과는 다음과 같다.

【표 1.1.17】 외관조사 결과

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비 고
본선터널	라이닝(천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	382.7m/156개소	표면처리	피난연결통로포함
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	511.0m/192개소	주입보수	피난연결통로포함
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	126.8m/19개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	299.5m/41개소	주입보수	
		망상균열	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	10.50㎡/2개소	주입보수	
		철근노출(피복두께 부족)		정밀시공 미흡	10.00㎡/1개소	방청+단면보수	피난연결통로포함
		단면손상(비철근노출)	박락/들뜸	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	4.15㎡/85개소	제거 및 단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
	라이닝(측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	2.9m/9개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	58.6m/168개소	주입보수	
		박락		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.41㎡/11개소	단면보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	480개소	주의관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	2.1m/6개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	7.2m/20개소	주입보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	8개소	재설치	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	30개소	주의관찰	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	9.15㎡/47개소	청소실시	
	도로부(포장면)	포장부(LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/차량반복하중 및 충격	59.78㎡/33개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	13.96㎡/224개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	24.3m/13개소	주입보수	
			균열(보수미흡)	온도 및 건조수축	3.5m/1개소	주의관찰	
			망상균열	온도 및 건조수축	4.00㎡/1개소	주의관찰	
		길어깨부	스폴링	온도변화에 의한 신축거동	0.16㎡/2개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	0.6m/2개소	주입보수	
부대시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	10.0m/4개소	주입보수	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	118.1m/21개소	표면처리	
		균열/백태		온도 및 건조수축	1.6m/3개소	주입보수	
		망상균열		온도 및 건조수축	7.62㎡/2개소	표면처리	
		몰탈 망상균열/들뜸		온도 및 건조수축	5.89㎡/1개소	표면처리	
		Joint부 누수		시공미흡	2.0m/1개소	실링보수	
		누수/백태		개구부 우수유입	1.71㎡/23개소	표면처리	
		우수유입흔적		개구부 우수유입	4.00㎡/4개소	표면처리	

1.1.4 기 점검결과와 비교

【표 1.1.18】기 점검결과와 손상물량 비교표

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	96.0m/45개소	382.7m/156개소	△	
			0.3㎜이상	139.2m/55개소	511.0m/192개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	130.0m/18개소	126.8m/19개소	-	
			0.3㎜이상	258.0m/32개소	299.5m/41개소	△	
		망상균열	0.3㎜이상	-	10.50㎡/2개소	△	
		철근노출(피복두께 부족)		-	10.00㎡/1개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	3.42㎡/58개소	4.15㎡/85개소	△	
		표면오염		-	60.00㎡/1개소	△	
		제트팬 녹발생		11개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		7.5m/8개소	2.9m/9개소	▽	
		균열(0.3㎜이상)		28.2m/17개소	58.6m/168개소	△	
		박락		-	0.41㎡/11개소	△	
		타일균열/파손		57개소	480개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	2.1m/6개소	△	
			0.3㎜이상	23.5m/56개소	7.2m/20개소	▽	
		공동구 덮개 파손		7개소	8개소	-	
		타일균열/파손		1개소	30개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	9.15㎡/47개소	△	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	1.21㎡/26개소	59.78㎡/33개소	△	
			스폴링	3.86㎡/54개소	14.12㎡/226개소	△	
			균열	16.5m/5개소	24.9m/15개소	△	
			균열(보수미흡)	-	3.5m/1개소	△	
			망상균열	-	4.00㎡/1개소	△	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	10.0m/4개소	△	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	115.0m/21개소	118.1m/21개소	-	
		균열/백태		0.2m/1개소	1.6m/3개소	△	
		망상균열		6.00㎡/개소	7.62㎡/2개소	△	
		몰탈 망상균열/들뜸		-	5.89㎡/1개소	△	
		Joint부 누수		2.0m/1개소	2.0m/1개소	-	
		누수/백태		0.59㎡/9개소	1.71㎡/23개소	△	
		우수유입흔적		4개소	4.00㎡/4개소	-	

2014년 측벽 일부구간 및 제트팬에 대해 보수가 실시된 것으로 확인되었으나, 공용기간 증가 및 점검장비를 이용한 근접조사에 의해 전반적으로 라이닝, 공동구, 포장부의 손상은 증가 또는 추가로 조사되었다.

1.2 내구성 조사 결과

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

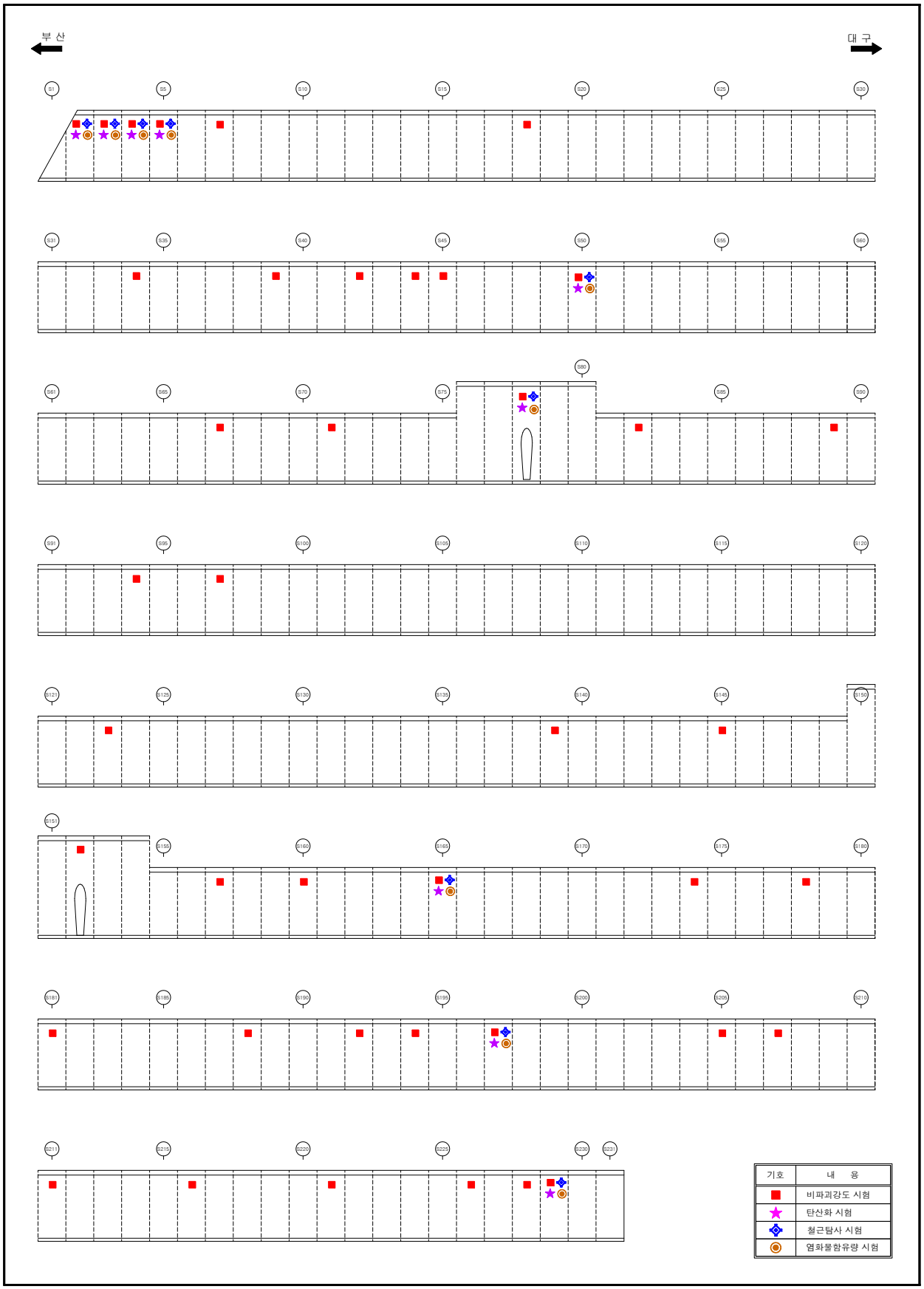
【표 1.2.1】 무척산터널(대구) 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기준	실시	
측점분할		• 신축이음부 또는 평가단위로 분할 • 5~50m 간격	-	SPAN 구분	
단면측량		• 종 · 횡단측량 및 선형측량 • 총수량 = (총연장/200) + 1	12	종단 : 1 횡단 : 11	
비파괴 강도	반발경도법	• 총수량 = (총연장/100)×2	41	41	
	초음파법		41	41	
철근탐사시험		• 총연장 1,000미만 = 4개소 • 총연장 1,000이상 = 4개소 + 500m당 1개소 추가	8	9	
탄산화깊이 측정			8	9	
염화물함유량시험			8	9	
균열깊이 조 사		• 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	-	4	Cw=0.3㎜이상 균열



반발경도시험	초음파전달속도시험	탄산화 깊이 측정	철근탐사시험

【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경



【그림 1.2.1】 무척산터널(대구) 콘크리트 내구성조사 위치도

1.2.1 콘크리트 강도시험

무척산터널(대구)의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법 및 초음파속도법를 이용하여 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 대한 총 41개소의 비파괴강도시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

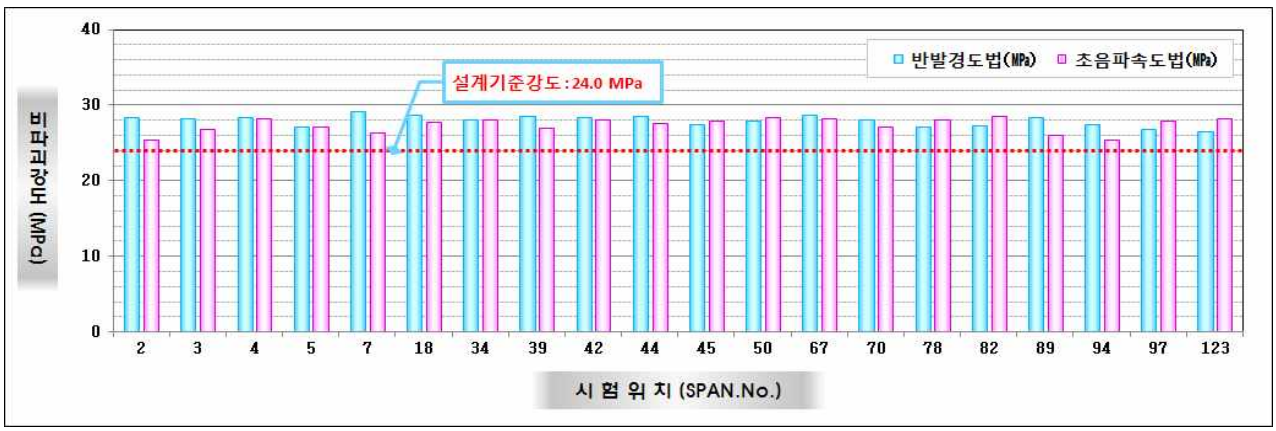
① 비파괴강도 시험결과

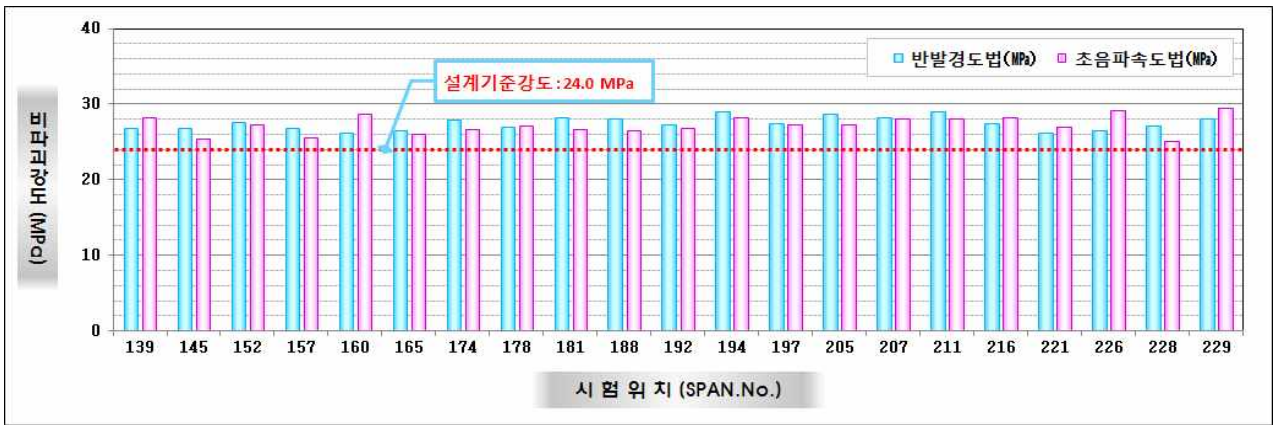
【표 1.2.2】비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	삭①	식②	평균	식③	식④	평균	
라이닝	SPAN. 2	49.5	3.962	28.3	28.5	28.4	22.7	28.1	25.4	24.0
	SPAN. 3	49.3	4.050	28.1	28.4	28.3	24.6	29.0	26.8	
	SPAN. 4	49.5	4.136	28.3	28.5	28.4	26.4	29.9	28.2	
	SPAN. 5	47.5	4.067	26.7	27.6	27.2	24.9	29.2	27.1	
	SPAN. 7	50.7	4.025	29.2	29.0	29.1	24.0	28.8	26.4	
	SPAN. 18	49.9	4.104	28.6	28.7	28.7	25.7	29.6	27.7	
	SPAN. 34	49.0	4.128	27.9	28.3	28.1	26.2	29.8	28.0	
	SPAN. 39	49.8	4.059	28.5	28.6	28.6	24.8	29.1	27.0	
	SPAN. 42	49.5	4.128	28.3	28.5	28.4	26.2	29.8	28.0	
	SPAN. 44	49.7	4.102	28.4	28.6	28.5	25.7	29.5	27.6	
	SPAN. 45	48.1	4.118	27.1	27.9	27.5	26.0	29.7	27.9	
	SPAN. 50	48.7	4.152	27.6	28.1	27.9	26.7	30.0	28.4	
	SPAN. 67	50.0	4.135	28.7	28.7	28.7	26.4	29.9	28.2	
	SPAN. 71	48.9	4.067	27.8	28.2	28.0	24.9	29.2	27.1	
	SPAN. 78	47.5	4.125	26.7	27.6	27.2	26.2	29.8	28.0	
	SPAN. 82	47.7	4.165	26.8	27.7	27.3	27.0	30.2	28.6	
	SPAN. 89	49.5	3.996	28.3	28.5	28.4	23.4	28.5	26.0	
	SPAN. 94	47.9	3.955	27.0	27.8	27.4	22.6	28.1	25.4	
	SPAN. 97	47.2	4.118	26.4	27.4	26.9	26.0	29.7	27.9	
	SPAN. 123	46.4	4.135	25.8	27.1	26.5	26.4	29.9	28.2	
	SPAN. 139	47.1	4.146	26.3	27.4	26.9	26.6	30.0	28.3	
	SPAN. 145	47.0	3.96	26.3	27.4	26.9	22.7	28.1	25.4	
	SPAN. 152	48.3	4.081	27.3	27.9	27.6	25.2	29.3	27.3	
	SPAN. 157	47.1	3.973	26.3	27.4	26.9	23.0	28.2	25.6	
	SPAN. 160	46.1	4.171	25.5	27.0	26.3	27.1	30.2	28.7	
	SPAN. 165	46.6	4.004	25.9	27.2	26.6	23.6	28.6	26.1	
	SPAN. 174	48.7	4.040	27.6	28.1	27.9	24.4	28.9	26.7	
	SPAN. 178	47.3	4.068	26.5	27.5	27.0	25.0	29.2	27.1	
	SPAN. 181	49.2	4.041	28.0	28.3	28.2	24.4	28.9	26.7	
	SPAN. 188	49.1	4.027	27.9	28.3	28.1	24.1	28.8	26.5	
	SPAN. 192	47.9	4.055	27.0	27.8	27.4	24.7	29.1	26.9	

【표 1.2.2】비파괴강도 시험결과(계속)

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
라이닝	SPAN. 194	50.6	4.14	29.1	29.0	29.1	26.5	29.9	28.2	24.0
	SPAN. 197	48.0	4.089	27.1	27.8	27.5	25.4	29.4	27.4	
	SPAN. 205	50.0	4.080	28.7	28.7	28.7	25.2	29.3	27.3	
	SPAN. 207	49.3	4.133	28.1	28.4	28.3	26.3	29.8	28.1	
	SPAN. 211	50.4	4.134	29.0	28.9	29.0	26.3	29.9	28.1	
	SPAN. 216	48.1	4.148	27.1	27.9	27.5	26.6	30.0	28.3	
	SPAN. 221	45.9	4.061	25.4	26.9	26.2	24.8	29.1	27.0	
	SPAN. 226	46.6	4.203	25.9	27.2	26.6	27.8	30.5	29.2	
	SPAN. 228	47.4	3.946	26.6	27.5	27.1	22.4	28.0	25.2	
	SPAN. 229	49.1	4.233	27.9	28.3	28.1	28.4	30.8	29.6	
평 균				27.4	28.0	27.7	25.3	29.4	27.4	
표 준 편 차				1.0	0.6	0.8	1.5	0.7	1.1	
변 동 계 수				3.8	2.1	2.9	5.8	2.4	3.9	





【그림 1.2.2】평균압축강도 추정결과

- 각 시험법에 의한 비파괴강도 검토결과, 설계기준 대비 105~123%로 반발경도법 및 초음파속도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회하는 값으로 분석되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 설계기준강도의 100%이상을 만족하면 적정한 것으로 판단함(일본 국토개발기술연구센터)에 따라 전구간 강도가 설계강도에 100%이상으로 조사되어 라이닝 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 무척산터널(대구) 라이닝에 대한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
라이닝	반발경도법	26.2~29.1	24.0	109~121
	초음파속도법	25.2~29.6	24.0	105~123

② 기 점검결과와의 비교

【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법	라이닝	24.2~28.7	26.2~29.1	24.0
검토의견		■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.		

1.2.2 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 철근배근간격 및 피복두께 측정을 위해 시·종점 개착구간, 비상주차구간 및 제트펜 설치구간 등의 철근배근 구간의 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 총 9개소의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

【표 1.2.5】철근탐사시험 결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	SPAN. 2	횡방향철근	146	70	150	39	
		종방향철근	188	92	200	66	
	SPAN. 3	횡방향철근	161	78	150	39	
		종방향철근	203	90	200	66	
	SPAN. 4	횡방향철근	147	82	150	39	
		종방향철근	210	100	200	66	
	SPAN. 5	횡방향철근	159	55	150	39	
		종방향철근	201	76	200	66	
	SPAN. 50	횡방향철근	130	60	125	39	
		종방향철근	189	80	200	66	
	SPAN. 78	횡방향철근	139	53	125	39	
		종방향철근	180	88	150	66	
	SPAN. 165	횡방향철근	120	61	125	39	
		종방향철근	210	59	200	66	
	SPAN. 197	횡방향철근	124	108	125	39	
		종방향철근	208	67	200	66	
	SPAN. 229	횡방향철근	154	48	150	39	
		종방향철근	130	79	200	66	

【표 1.2.6】철근탐사시험 결과분석

구 분	철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	횡방향철근	120~161	48~108	125, 150	39	
	종방향철근	130~210	59~100	150, 200	66	

본 과업대상 터널에 대하여 철근탐사 수행결과, 측정된 철근배근 간격 및 피복두께는 부재별로 설계도서과 비교시 일부 구간에서 미소한 편차는 있으나 대부분의 측정 위치에서 근사한 것으로 측정되었으며, 지속적인 점검 및 관찰을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다.

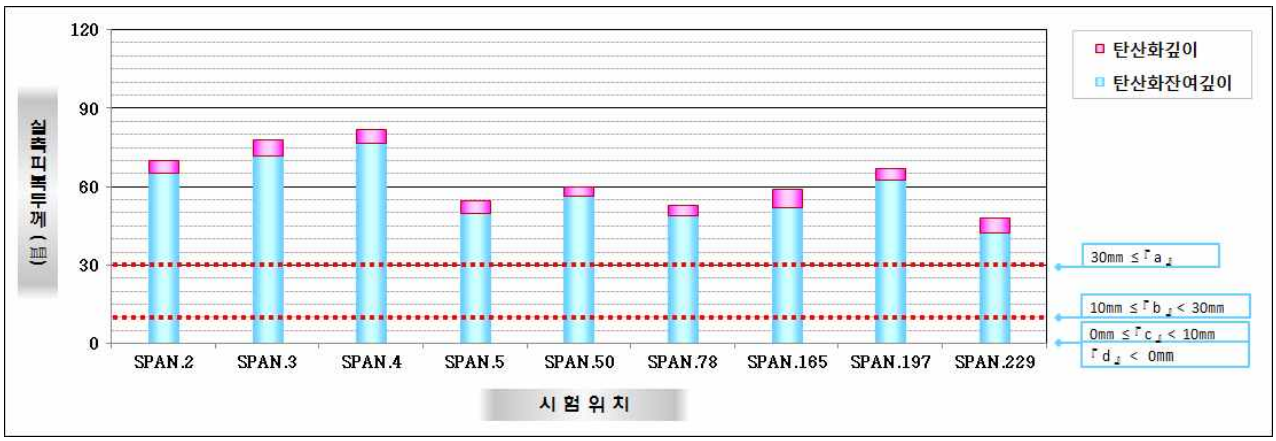
1.2.3 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 라이닝 천단 및 어깨부에 총 9개소의 탄산화 잔여깊이를 측정하였으며, 실측 최소 피복두께를 적용하기 위해 철근탐사시험과 동일한 위치를 선정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

가. 탄산화 깊이 측정결과

【표 1.2.7】탄산화깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	SPAN. 2	4.7	70.0	65.3	a	1.509	2,142	100년이상
	SPAN. 3	6.2	78.0	71.8	a	1.991	1,525	
	SPAN. 4	5.3	82.0	76.7	a	1.702	2,311	
	SPAN. 5	4.9	55.0	50.1	a	1.573	1,213	
	SPAN. 50	3.3	60.0	56.7	a	1.060	3,194	
	SPAN. 78	4.0	53.0	49.0	a	1.284	1,694	
	SPAN. 165	6.9	59.0	52.1	a	2.215	700	
	SPAN. 197	4.2	67.0	62.8	a	1.349	2,457	
	SPAN. 229	5.5	48.0	42.5	a	1.766	729	



【그림 1.2.3】탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상으로 측정되어 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2012. 10)』의 건전성 평가 기준에 의거 "a"로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

나. 기 진단결과와의 비교

【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교

구 분	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	비 고
라이닝	2.0~7.0	3.3~6.9	
검토의견	■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.		

1.2.4 염화물함유량 시험

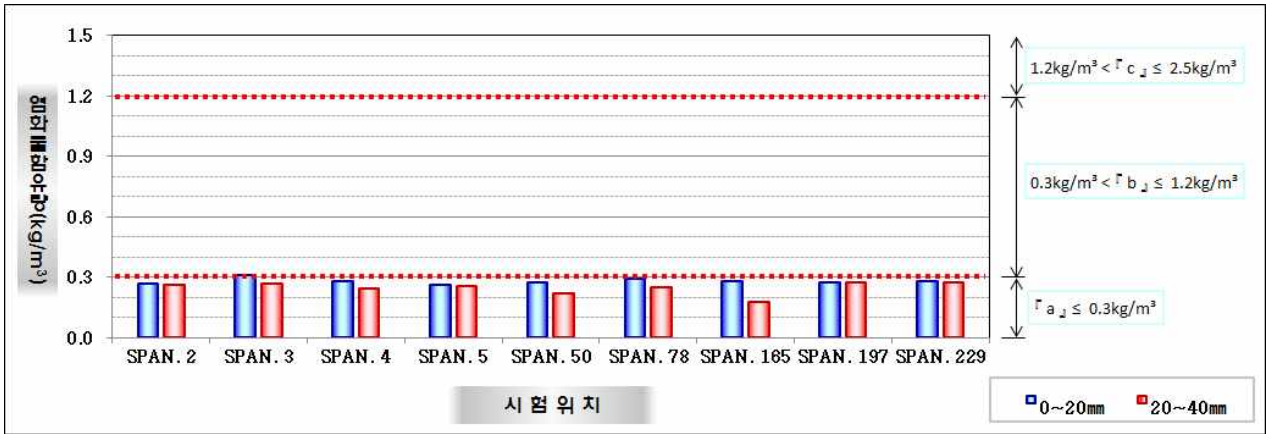
염화물함유량 시험은 라이닝 천단부 및 어깨부에 총 9개소에 대하여 깊이별 시료를 채취하여 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가

시험위치		측정 깊이	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
라이닝	SPAN. 2	0~20㎜	0.0118	0.267	a	
		20~40㎜	0.0117	0.264	a	
	SPAN. 3	0~20㎜	0.0138	0.312	b	
		20~40㎜	0.0119	0.269	a	
	SPAN. 4	0~20㎜	0.0123	0.278	a	
		20~40㎜	0.0107	0.242	a	
	SPAN. 5	0~20㎜	0.0115	0.260	a	
		20~40㎜	0.0114	0.257	a	
	SPAN. 50	0~20㎜	0.0120	0.271	a	
		20~40㎜	0.0096	0.217	a	
	SPAN. 78	0~20㎜	0.0129	0.291	a	
		20~40㎜	0.0110	0.248	a	
	SPAN. 165	0~20㎜	0.0123	0.278	a	
		20~40㎜	0.0079	0.178	a	
	SPAN. 197	0~20㎜	0.0122	0.276	a	
		20~40㎜	0.0122	0.276	a	
	SPAN. 229	0~20㎜	0.0123	0.278	a	
		20~40㎜	0.0122	0.276	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)

콘크리트 시료의 염화물함유량 평가는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)” 평가기준에 의거하여 수행하였으며, 깊이별 분석결과 염화물함유량이 낮아 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a~b”로 평가되었다.



【그림 1.2.4】염화물시험 측정결과

1.2.5 균열깊이 측정결과

외관조사시 조사된 균열폭 0.3㎜이상 균열 중 임의로 대표손상을 선정하였으며, 초음파속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

【표 1.2.10】균열깊이 측정결과

시험위치		균열폭 (㎜)	전달거리 (㎜)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$sec)		균열깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	비고
				건전부 (To)	균열부 (Tc)			
라이닝	SPAN. 5	0.3	200	54.2	65.1	66.5	55	
	SPAN. 78	0.4	200	57.7	79.9	95.8	53	
	SPAN. 153	0.3	200	52.9	63.4	66.1	39	
	SPAN. 230	0.3	200	53.3	61.6	57.9	39	

균열깊이 측정결과, 측정 대상 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.

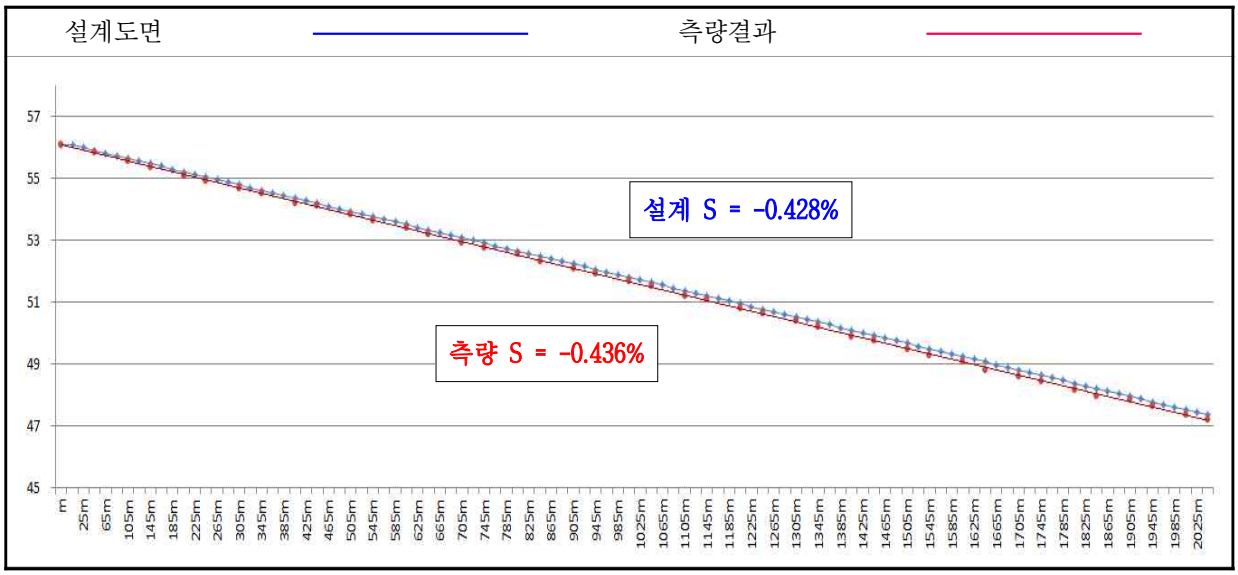
1.2.6 단면측량 결과

터널의 내공변위를 주기적으로 정밀하게 측정하여 분석하면 단면형상 변화, 변위의 진행성 여부 등을 판단할 수 있다. 정밀도가 높은 계측기를 사용하여 터널의 내공변위를 정확하게 파악하여야 하며 계측기의 위치는 변동하지 않아야 한다. 본 과업에서는 광파측량기를 이용하여 단면측량을 실시하였다.

가. 종단측량 결과

무척산터널(대구)의 종단선형은 S=-0.428%로 종단측량에 의한 종단선형 비교 결과, 실측치 종단경사가 S=0.436%로 설계치와 0.008%의 오차가 발생하였으나 전반적으로 설계치와 유사한 종단경사를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 설계치와 실측치의 오차(0.008%)는 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공 및 측정오차에 의해 발생된 것으로 판단된다.(종단측량은 중앙차선(2차로)을 기준으로 레벨측량을 실시함)

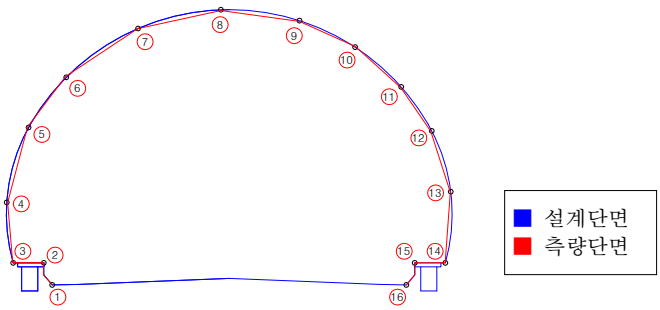
【표 1.2.11】 무척산터널(대구) 종단측량 결과

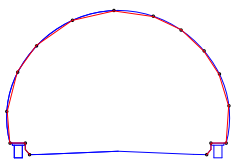
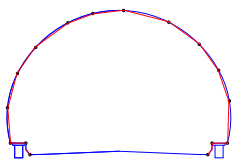
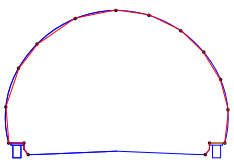


나. 내공변위 측량

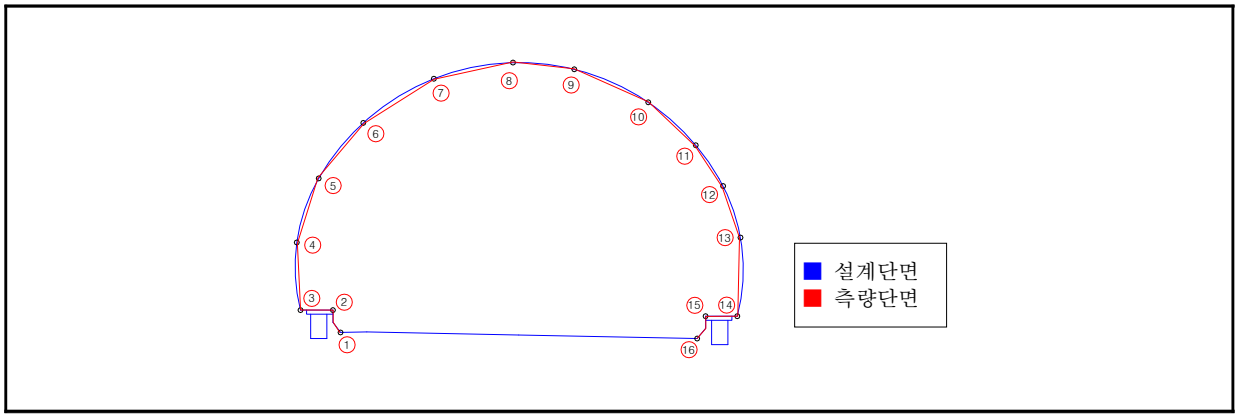
내공변위 측량 결과 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단된다.

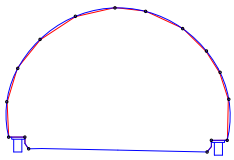
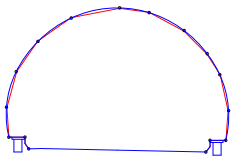
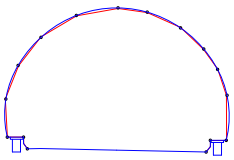
【표 1.2.12】 무척산터널(대구) 내공변위 측량 결과



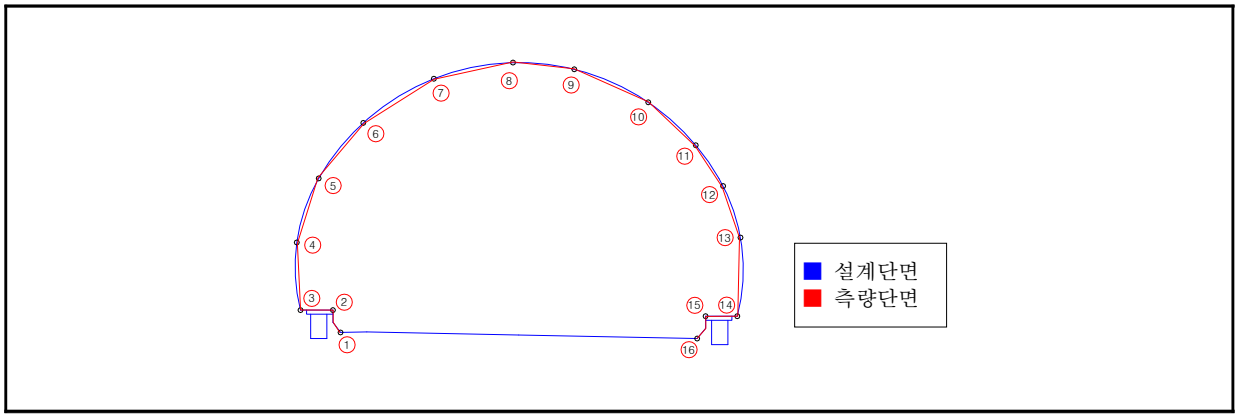
시험위치	S10				S20				S30			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	-0.1630	-4.3869	-0.1627	-4.4000	-0.1630	-4.3922	-0.1628	-4.4000	-0.1630	-4.3874	-0.1627
②	-4.6082	0.3870	-4.6173	0.3932	-4.6082	0.3870	-4.6224	0.3792	-4.6082	0.3870	-4.6082	0.3949
③	-5.3697	0.3870	-5.3806	0.3932	-5.3697	0.3870	-5.3618	0.3792	-5.3697	0.3870	-5.3606	0.3944
④	-5.5299	1.8941	-5.5081	1.8918	-5.5149	2.0728	-5.4978	2.0491	-5.5109	2.1091	-5.4996	2.1331
⑤	-4.9872	3.7635	-5.0106	3.7767	-5.0193	3.7038	-5.0422	3.7144	-4.8761	3.9556	-4.8550	3.9508
⑥	-4.0509	5.0147	-4.0662	5.0339	-4.1191	4.9426	-4.1455	4.9560	-3.9606	5.1019	-3.9374	5.0936
⑦	-2.2659	6.2324	-2.2807	6.2259	-2.5305	6.1096	-2.5184	6.0954	-2.0632	6.3156	-2.0731	6.3338
⑧	-0.2091	6.7000	-0.2079	6.6783	-1.2954	6.5528	-1.2892	6.5319	-0.0469	6.7017	-0.0476	6.7299
⑨	1.7463	6.4279	1.7458	6.4081	0.2317	6.6972	0.2347	6.7129	1.5987	6.4732	1.6088	6.4975
⑩	3.1273	5.7678	3.1392	5.7799	2.4652	6.1414	2.4671	6.1639	3.1784	5.7339	3.1941	5.7555
⑪	4.2726	4.7758	4.2675	4.7504	3.9779	5.0851	3.9941	5.1026	4.3225	4.7186	4.2985	4.7211
⑫	5.0332	3.6773	5.0081	3.6670	4.9380	3.8510	4.9148	3.8475	5.1595	3.4137	5.1467	3.3945
⑬	5.5046	2.1627	5.4926	2.1471	5.4687	2.3992	5.4398	2.3846	5.5244	1.9696	5.5465	1.9606
⑭	5.3697	0.3870	5.3663	0.3914	5.3697	0.3870	5.3828	0.3801	5.3697	0.3870	5.3650	0.3870
⑮	4.6082	0.3870	4.6125	0.3897	4.6082	0.3870	4.6138	0.3836	4.6082	0.3870	4.6005	0.3870
⑯	4.4000	-0.1630	4.4035	-0.1630	4.4000	-0.1630	4.4000	-0.1666	4.4000	-0.1630	4.4016	-0.1657
단면												

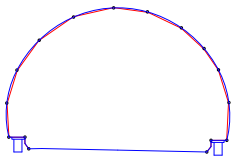
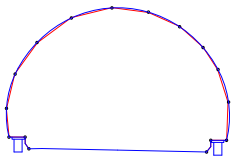
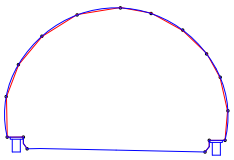
【표 1.2.12】무척산터널(대구) 내공변위 측량 결과(계속)



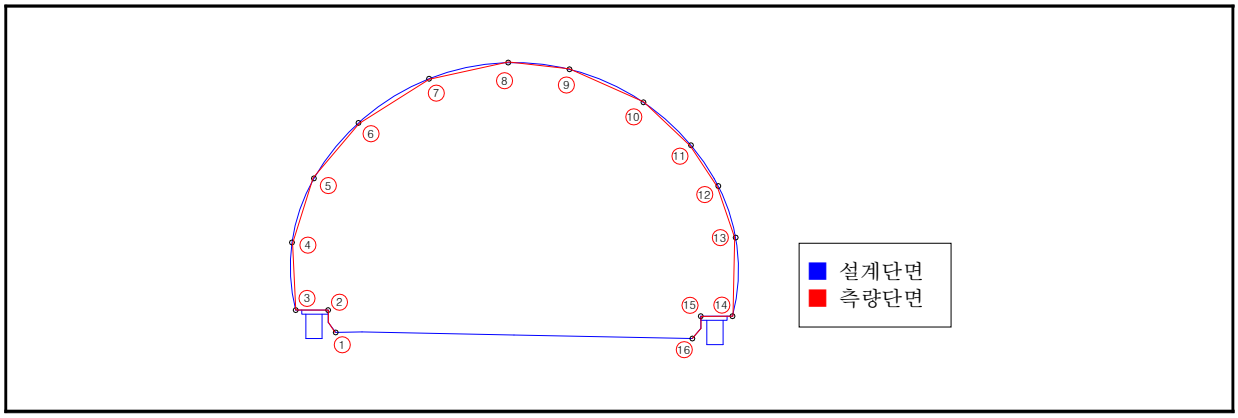
시험위치	S65				S95				S110			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.4172	0.0617	-4.4000	0.0620	-4.4099	0.0618	-4.4000	0.0620	-4.3963	0.0642
②	-4.5871	0.6120	-4.5819	0.6120	-4.5871	0.6120	-4.5842	0.6120	-4.5871	0.6120	-4.5851	0.6146
③	-5.3875	0.6120	-5.3847	0.6141	-5.3875	0.6120	-5.3857	0.6135	-5.3875	0.6120	-5.3831	0.6173
④	-5.4791	2.2754	-5.4636	2.2522	-5.5067	2.0228	-5.4830	2.0057	-5.4588	2.4071	-5.4842	2.4076
⑤	-4.9380	3.8510	-4.9556	3.8648	-5.0223	3.6981	-4.9960	3.7023	-4.8561	3.9884	-4.8350	3.9702
⑥	-3.8385	5.2164	-3.8234	5.2008	-3.9396	5.1221	-3.9503	5.1334	-3.7285	5.3140	-3.7346	5.3305
⑦	-2.0965	6.3025	-2.0904	6.2886	-2.2879	6.2228	-2.2930	6.2407	-1.9875	6.3444	-1.9774	6.3269
⑧	-0.1441	6.7001	-0.1383	6.7145	0.1174	6.7007	0.1174	6.6813	0.0644	6.7016	0.0644	6.6752
⑨	1.3676	6.5355	1.3685	6.5457	1.5818	6.4782	1.5841	6.4893	1.5009	6.5009	1.4983	6.4823
⑩	3.1935	5.7238	3.2025	5.7333	3.3233	5.6334	3.3147	5.6051	3.1425	5.7578	3.1478	5.7767
⑪	4.3662	4.6672	4.3504	4.6483	4.4669	4.5439	4.4478	4.5303	4.2841	4.7628	4.2683	4.7499
⑫	5.0405	3.6633	5.0185	3.6397	5.0954	3.5533	5.1085	3.5579	4.9650	3.8035	4.9749	3.8121
⑬	5.4694	2.3960	5.4446	2.3924	5.5322	1.8602	5.5061	1.8591	5.4318	2.5836	5.4014	2.5791
⑭	5.3906	0.4620	5.4021	0.4620	5.3906	0.4620	5.3985	0.4620	5.3906	0.4620	5.4088	0.4563
⑮	4.6082	0.4620	4.6145	0.4562	4.6082	0.4620	4.6131	0.4552	4.6082	0.4620	4.6144	0.4560
⑯	4.4000	-0.0880	4.3960	-0.0879	4.4000	-0.0880	4.4011	-0.0889	4.4000	-0.0880	4.3940	-0.0866
단면												

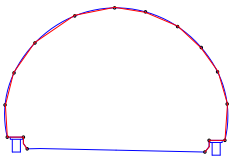
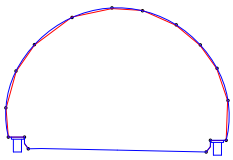
【표 1.2.12】무척산터널(대구) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S130				S145				S160			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.4004	0.0539	-4.4000	0.0620	-4.4053	0.0619	-4.4000	0.0620	-4.3941	0.0645
②	-4.5871	0.6120	-4.5939	0.6025	-4.5871	0.6120	-4.5828	0.6133	-4.5871	0.6120	-4.5905	0.6153
③	-5.3875	0.6120	-5.3812	0.6063	-5.3875	0.6120	-5.3828	0.6183	-5.3875	0.6120	-5.3828	0.6089
④	-5.4871	2.2146	-5.4733	2.1860	-5.5109	1.9639	-5.5128	1.9348	-5.4383	2.5185	-5.4218	2.5071
⑤	-4.9857	3.7663	-4.9679	3.7526	-5.0826	3.5788	-5.0994	3.5876	-4.8333	4.0251	-4.8168	4.0267
⑥	-3.8836	5.1749	-3.9049	5.1550	-3.9995	5.0640	-3.9762	5.0608	-3.6706	5.3634	-3.6584	5.3534
⑦	-2.1852	6.2666	-2.1979	6.2777	-2.2942	6.2200	-2.3061	6.2339	-1.9272	6.3664	-1.9284	6.3822
⑧	-0.2053	6.6983	-0.2069	6.7094	-0.2860	6.6948	-0.2866	6.7067	0.2128	6.6980	0.2128	6.7141
⑨	1.4659	6.5103	1.4921	6.4874	1.5192	6.4958	1.5192	6.4798	1.7310	6.4329	1.7381	6.4539
⑩	3.1425	5.7578	3.1358	5.7399	3.0663	5.8073	3.0783	5.8173	3.2958	5.6529	3.2942	5.6315
⑪	4.2659	4.7835	4.2503	4.7643	4.2253	4.8286	4.2338	4.8365	4.4773	4.5307	4.4909	4.5432
⑫	4.9779	3.7805	4.9714	3.7691	4.9705	3.7937	4.9504	3.7898	5.1521	3.4308	5.1430	3.4087
⑬	5.4948	2.2379	5.4752	2.2343	5.4916	2.2601	5.4610	2.2601	5.5327	1.8504	5.5134	1.8457
⑭	5.3906	0.4620	5.3821	0.4620	5.3906	0.4620	5.3945	0.4618	5.3906	0.4620	5.3875	0.4592
⑮	4.6082	0.4620	4.6108	0.4593	4.6082	0.4620	4.6073	0.4649	4.6082	0.4620	4.6044	0.4585
⑯	4.4000	-0.0880	4.4000	-0.0903	4.4000	-0.0880	4.3985	-0.0880	4.4000	-0.0880	4.3985	-0.0921
단면												

【표 1.2.12】무척산터널(대구) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S175				S190			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.4011	0.0540	-4.4000	0.0620	-4.3946	0.0590
②	-4.5871	0.6120	-4.5905	0.6155	-4.5871	0.6120	-4.5902	0.6097
③	-5.3875	0.6120	-5.3832	0.6154	-5.3875	0.6120	-5.3869	0.6097
④	-5.4971	2.1272	-5.4782	2.1175	-5.5092	1.9897	-5.4995	1.9658
⑤	-5.0522	3.6394	-5.0734	3.6488	-5.0087	3.7237	-4.9976	3.7098
⑥	-4.0162	5.0482	-4.0305	5.0646	-4.0967	4.9660	-4.0915	4.9479
⑦	-2.0457	6.3223	-2.0558	6.3483	-2.2341	6.2461	-2.2395	6.2650
⑧	-0.0719	6.7015	-0.0703	6.7253	-0.2596	6.6960	-0.2585	6.6654
⑨	1.4586	6.5122	1.4583	6.4899	1.2521	6.5628	1.2542	6.5765
⑩	3.0473	5.8194	3.0592	5.8405	2.9174	5.8991	2.9034	5.8767
⑪	4.2226	4.8317	4.2074	4.8150	4.1092	4.9531	4.0887	4.9416
⑫	5.0280	3.6874	5.0525	3.7026	4.9380	3.8510	4.9214	3.8409
⑬	5.5033	2.1742	5.5195	2.1737	5.4798	2.3356	5.4617	2.3359
⑭	5.3906	0.4620	5.3946	0.4600	5.3906	0.4620	5.3904	0.4520
⑮	4.6082	0.4620	4.6125	0.4648	4.6082	0.4620	4.6149	0.4523
⑯	4.4000	-0.0880	4.4006	-0.0939	4.4000	-0.0880	4.3972	-0.0923
단면								

1.2.7 현장시험 결과 요약

【표 1.2.13】현장시험 결과 요약

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="6">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(MPa)</td><td>부재</td><td>시험종류</td><td>추정강도(A)</td><td colspan="2">설계기준강도(B)</td><td colspan="2">A/B×100(%)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td>반발경도법</td><td>26.2～29.1</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td colspan="2">109～121</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>25.2～29.6</td><td colspan="2">105～123</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">부재</td><td rowspan="2">철근종류</td><td colspan="2">측정치</td><td colspan="2">설계치</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td rowspan="2">천단, 어깨부</td><td>횡방향철근</td><td>120～161</td><td>48～108</td><td>125, 150</td><td>39</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>130～210</td><td>59～100</td><td>150, 200</td><td>66</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계치과 근사함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>탄산화깊이</td><td>피복두께</td><td>잔여깊이</td><td>평가</td><td>잔존수명</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>3.3～6.9</td><td>48～82</td><td>42.5～76.7</td><td>a</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">염화물
함유량</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">Cl^-(%)</td><td colspan="2">Cl^-(kg/㎥)</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.0079～0.0138</td><td colspan="2">0178～0.312</td><td>a~b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a～b”로 평가됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균열
깊이</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.3～0.4</td><td colspan="2">57.9～95.8</td><td>39～55</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
</table>

1.2.8 기 점검('13년)결과 비교

【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="3">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">비파괴 강도 (㎫)</td><td>시험종류</td><td>부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>설계기준강도</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>반발경도법</td><td>라이닝</td><td>24.2～28.7</td><td>26.2～29.1</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="4">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">라이닝</td><td>2.0～7.0</td><td>3.3～6.9</td><td>a</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="4">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a” 로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

1.3 G.P.R 탐사 결과

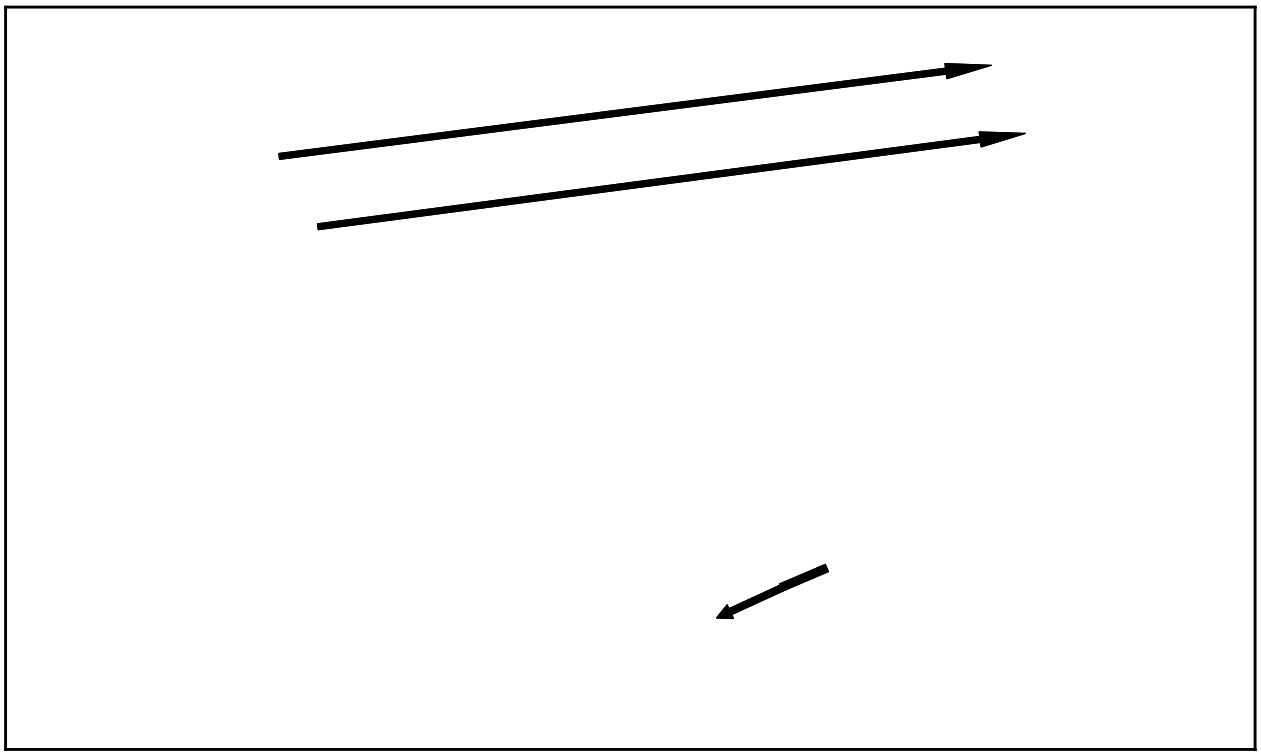
본 G.P.R 탐사는 무척산터널(대구)에 대하여 콘크리트 라이닝의 두께, 라이닝 배면의 공동 유무와 위치, 강지보공 설치현황 등을 조사하기 위하여 실시하였다. 탐사결과는 준공도서와 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며 이상반사파 구간의 두께 및 범위를 제시하여 필요시 보수, 보강 대책을 수립하는 등 터널의 유지관리에 필요한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1.3.1 조사구간 선정

무척산터널(대구) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 130m마다 횡방향 탐사를 16개소 실시하였다. 본 탐사에 적용된 안테나의 중심주파수는 약 1700㎒이다.

【표 1.3.1】탐사구간 및 연장

구 분		탐사구간	탐사연장	비고
종측선	천단부	S1 ~ S229	2,027m	
	어깨부	S1 ~ S229	2,027m	2차로측
횡측선	1차선 어깨부~ 2차선 어깨부		62m / 16개소	



【그림 1.3.1】터널 측선도

1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석

탐사결과 라이닝 콘크리트 두께분포는 지보패턴 T-1에서 140㎜~600㎜, T-2에서 140㎜~580㎜, T-3에서 180㎜~650㎜, T-4에서 200㎜~610㎜, T-5에서 130㎜~570㎜, T-6에서 200㎜~560㎜로 조사되었다. 탐사된 대부분의 구간은 설계 라이닝 두께를 만족하고 있는 것으로 분석되었으나 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

터널표준시방서(2009) 6장의 3.4.2항에 의하면 "설계두께의 1/3 혹은 100㎜중 작은 값을 초과하지 않는 범위 내의 시공오차를 허용할 수 있다." 라고 언급되어 있다. 본 터널의 설계 라이닝두께는 300㎜이며 라이닝 두께에 대한 평가시 설계두께보다 100㎜ 작은 값인 200㎜를 적용하였다.

대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 천단부 종측선 S28, S41, S42, S46, S92, S94, S126, S127, S173, S186, 어깨부 종측선 S35, S92, S211, S215에서 나타났으며 연장율은 0.28%로 조사되었다.

【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

구분		라이닝 두께(㎜)			비고
		측정치	설계치	허용치	
종측선	천단부	140 ~ 650	300	200	일부구간 두께부족
	어깨부	130 ~ 610			
횡측선		200 ~ 490			

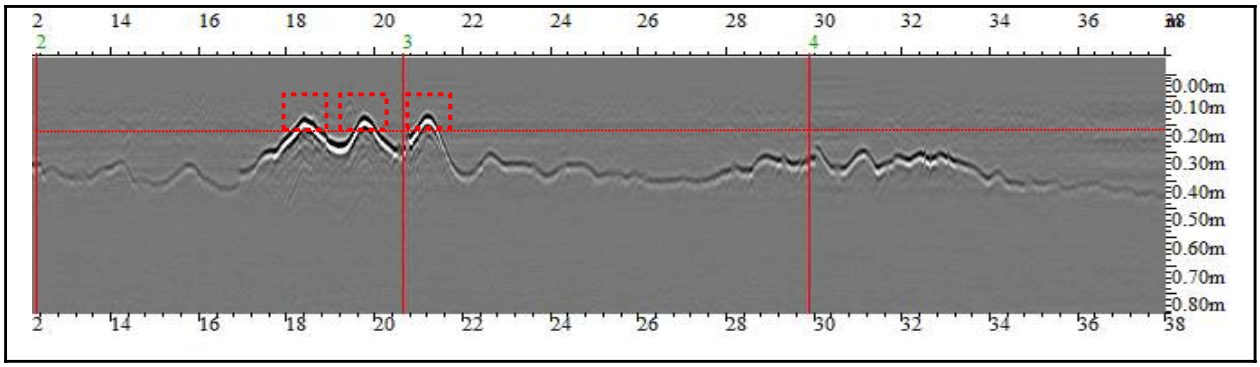
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

지보패턴		라이닝 두께(㎜)			Span No.	비고
		측정치	설계치	허용치		
T-1	종측선(천단부)	140 ~ 600	300	200	S57~S141	일부구간 두께부족
	종측선(어깨부)	190 ~ 600				
	횡측선	270 ~ 470				
T-2	종측선(천단부)	140 ~ 580	300	200	S40~S56, S142~S182	
	종측선(어깨부)	210 ~ 580				
	횡측선	210 ~ 490				
T-3	종측선(천단부)	180 ~ 650	300	200	S21~S39, S183~S198	
	종측선(어깨부)	180 ~ 590				
	횡측선	200 ~ 420				
T-4	종측선(천단부)	200 ~ 610	300	200	S13~S20, S199~S209	
	종측선(어깨부)	230 ~ 610				
	횡측선	240 ~ 350				
T-5	종측선(천단부)	210 ~ 570	300	200	S7~S12, S210~S216	일부구간 두께부족
	종측선(어깨부)	130 ~ 520				
T-6	종측선(천단부)	210 ~ 560	300	200	S4~S6, S217~S231	
	종측선(어깨부)	200 ~ 560				
개착구간	-	-	300	200	S1~S3	철근보강

【표 1.3.4】콘크리트 라이닝 두께부족구간

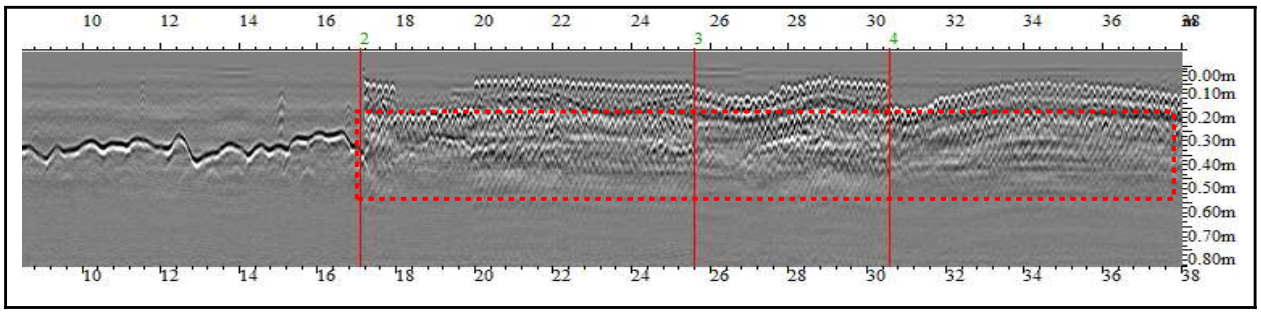
구 분	탐사연장	두께부족구간			지보패턴
		Span No.	조사연장 (m)	라이닝두께 (㎜)	
종측선(천단부)	2,027m	S28	0.3	180~420	T-3
		S41	0.5	190~340	T-2
		S42	0.4	190~480	
		S46	0.2	190~390	
		S92	1.3	140~500	T-1
		S94	1.2	190~440	
		S126	1.3	150~430	
		S127	0.5	140~400	
		S173	1.5	140~380	T-2
		S186	0.7	180~550	T-3
종측선(어깨부)	2,027m	S35	0.4	180~370	T-3
		S92	0.2	190~440	T-1
		S211	1.7	130~510	T-5
		S215	1.2	140~470	
횡측선	62m	-	-	-	
합계	4116m	11.4m			0.28%

다음 그림은 S126~S128 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 일부 구간의 콘크리트 라이닝이 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.



【그림 1.3.2】콘크리트 라이닝 두께부족구간(S126~S128)

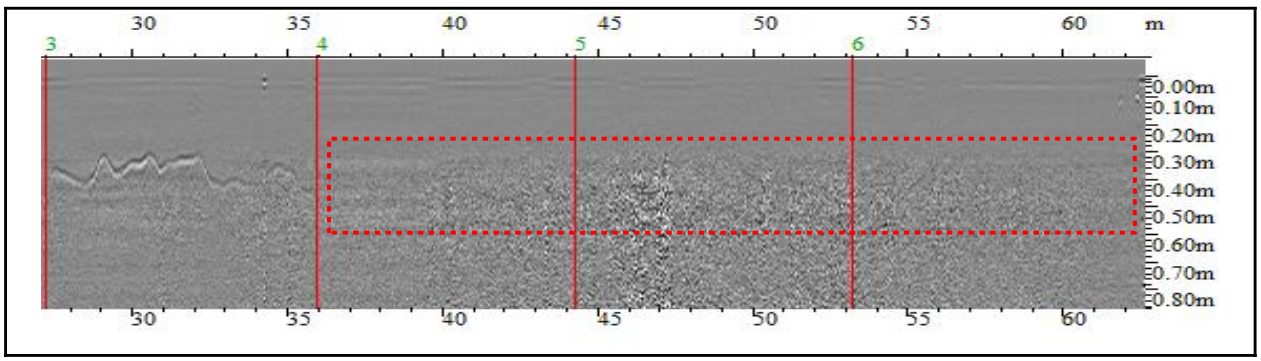
다음은 S222~S225 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 콘크리트 라이닝의 경계면이 철근의 간섭으로 인하여 나타나지 않는 것으로 탐사되었다.



【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S222~S225)

콘크리트 라이닝 내부의 경계면 즉, 라이닝과 숏크리트의 경계면은 연속적인 반사면으로 작용하여 전자파를 반사시키므로 반사 신호의 왕복도달시간으로 라이닝의 두께를 알 수 있다. 그러나 기본적으로는 라이닝과 숏크리트의 상대유전율이 4~8로 매우 비슷하기 때문에 각 경계면들이 잘 밀착되어 있고 함수율의 변화가 미미하다면 각 경계면에서의 반사강도가 크지 않아 그 경계면을 탐지하기가 매우 곤란하다.

다음은 S147~S150 구간의 어깨부에 대한 G.P.R 탐사결과로 시공상태가 양호하여 콘크리트 라이닝과 숏크리트 경계면이 밀착되어 경계면의 반사파가 미약한 경우이다.



【그림 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S147~S150)

다음【표 1.3.5】~【표 1.3.7】은 스판별 천단부 종측선, 어깨부 종측선, 횡측선에 대한 콘크리트 라이닝 두께 측정결과이며 G.P.R 탐사 상세데이터는 부록에 첨부하였다.

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S1	-	철근배근	S2	-	철근배근
S3	-	철근배근	S4	380 ~ 560	무근
S5	320 ~ 420	무근	S6	250 ~ 410	무근
S7	220 ~ 370	무근	S8	310 ~ 390	무근
S9	320 ~ 420	무근	S10	280 ~ 400	무근
S11	280 ~ 410	무근	S12	260 ~ 390	무근
S13	310 ~ 450	무근	S14	300 ~ 410	무근
S15	220 ~ 420	무근	S16	270 ~ 360	무근
S17	220 ~ 400	무근	S18	290 ~ 410	무근
S19	300 ~ 450	무근	S20	300 ~ 460	무근
S21	260 ~ 370	무근	S22	280 ~ 400	무근
S23	300 ~ 420	무근	S24	310 ~ 420	무근
S25	230 ~ 450	무근	S26	280 ~ 430	무근
S27	230 ~ 440	무근	S28	180 ~ 420	무근
S29	310 ~ 480	무근	S30	300 ~ 440	무근
S31	230 ~ 400	무근	S32	250 ~ 420	무근
S33	280 ~ 430	무근	S34	-	철근배근
S35	200 ~ 430	무근	S36	250 ~ 420	무근
S37	240 ~ 470	무근	S38	210 ~ 340	무근
S39	240 ~ 420	무근	S40	250 ~ 470	무근
S41	190 ~ 340	무근	S42	190 ~ 480	무근
S43	290 ~ 420	무근	S44	260 ~ 450	무근
S45	220 ~ 430	무근	S46	190 ~ 390	무근
S47	260 ~ 430	무근	S48	290 ~ 480	무근
S49	290 ~ 450	무근	S50	-	철근배근
S51	280 ~ 440	무근	S52	280 ~ 400	무근
S53	250 ~ 470	무근	S54	330 ~ 500	무근
S55	260 ~ 440	무근	S56	250 ~ 480	무근
S57	300 ~ 480	무근	S58	340 ~ 470	무근
S59	280 ~ 500	무근	S60	360 ~ 490	무근
S61	400 ~ 460	무근	S62	310 ~ 440	무근
S63	320 ~ 470	무근	S64	260 ~ 430	무근
S65	240 ~ 450	무근	S66	-	철근배근
S67	210 ~ 470	무근	S68	200 ~ 500	무근
S69	350 ~ 480	무근	S70	340 ~ 510	무근
S71	310 ~ 500	무근	S72	260 ~ 430	무근
S73	280 ~ 450	무근	S74	330 ~ 550	무근
S75	350 ~ 470	무근	S76	-	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S77	-	철근배근	S78	-	철근배근
S79	-	철근배근	S80	-	철근배근
S81	-	철근배근	S82	-	철근배근
S83	340 ~ 460	무근	S84	290 ~ 500	무근
S85	290 ~ 480	무근	S86	240 ~ 500	무근
S87	310 ~ 460	무근	S88	300 ~ 550	무근
S89	230 ~ 420	무근	S90	220 ~ 430	무근
S91	260 ~ 400	무근	S92	140 ~ 500	무근
S93	350 ~ 510	무근	S94	190 ~ 440	무근
S95	300 ~ 510	무근	S96	200 ~ 430	무근
S97	260 ~ 440	무근	S98	210 ~ 450	무근
S99	210 ~ 430	무근	S100	360 ~ 560	무근
S101	340 ~ 560	무근	S102	380 ~ 550	무근
S103	440 ~ 560	무근	S104	430 ~ 550	무근
S105	460 ~ 560	무근	S106	460 ~ 550	무근
S107	430 ~ 550	무근	S108	290 ~ 560	무근
S109	240 ~ 500	무근	S110	250 ~ 440	무근
S111	220 ~ 500	무근	S112	380 ~ 520	무근
S113	250 ~ 520	무근	S114	280 ~ 520	무근
S115	360 ~ 520	무근	S116	260 ~ 510	무근
S117	210 ~ 550	무근	S118	260 ~ 560	무근
S119	300 ~ 530	무근	S120	420 ~ 600	무근
S121	370 ~ 580	무근	S122	330 ~ 530	무근
S123	340 ~ 480	무근	S124	-	무근
S125	210 ~ 400	무근	S126	150 ~ 430	무근
S127	140 ~ 400	무근	S128	230 ~ 430	무근
S129	240 ~ 440	무근	S130	220 ~ 450	무근
S131	200 ~ 360	무근	S132	220 ~ 510	무근
S133	230 ~ 470	무근	S134	220 ~ 390	무근
S135	230 ~ 380	무근	S136	230 ~ 430	무근
S137	210 ~ 430	무근	S138	260 ~ 420	무근
S139	300 ~ 470	무근	S140	210 ~ 450	무근
S141	240 ~ 420	무근	S142	320 ~ 500	무근
S143	210 ~ 540	무근	S144	270 ~ 480	무근
S145	360 ~ 510	무근	S146	260 ~ 550	무근
S147	250 ~ 430	무근	S148	340 ~ 510	무근
S149	210 ~ 500	무근	S150	-	철근배근
S151	-	철근배근	S152	-	철근배근
S153	-	철근배근	S154	-	철근배근
S155	-	철근배근	S156	200 ~ 460	무근
S157	230 ~ 470	무근	S158	260 ~ 460	무근
S159	240 ~ 430	무근	S160	200 ~ 380	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S161	270 ~ 540	무근	S162	290 ~ 520	무근
S163	250 ~ 460	무근	S164	300 ~ 480	무근
S165	240 ~ 510	무근	S166	260 ~ 480	무근
S167	300 ~ 460	무근	S168	240 ~ 440	무근
S169	360 ~ 540	무근	S170	390 ~ 580	무근
S171	270 ~ 570	무근	S172	300 ~ 460	무근
S173	140 ~ 380	무근	S174	290 ~ 460	무근
S175	280 ~ 540	무근	S176	320 ~ 470	무근
S177	310 ~ 470	무근	S178	240 ~ 420	무근
S179	290 ~ 540	무근	S180	310 ~ 510	무근
S181	-	철근배근	S182	240 ~ 550	무근
S183	270 ~ 520	무근	S184	280 ~ 550	무근
S185	240 ~ 510	무근	S186	180 ~ 550	무근
S187	390 ~ 650	무근	S188	280 ~ 550	무근
S189	220 ~ 470	무근	S190	210 ~ 490	무근
S191	260 ~ 550	무근	S192	260 ~ 510	무근
S193	280 ~ 510	무근	S194	320 ~ 560	무근
S195	300 ~ 540	무근	S196	330 ~ 510	무근
S197	-	철근배근	S198	310 ~ 570	무근
S199	300 ~ 500	무근	S200	200 ~ 540	무근
S201	240 ~ 480	무근	S202	250 ~ 590	무근
S203	260 ~ 610	무근	S204	210 ~ 520	무근
S205	310 ~ 510	무근	S206	320 ~ 530	무근
S207	210 ~ 500	무근	S208	210 ~ 510	무근
S209	300 ~ 500	무근	S210	400 ~ 570	무근
S211	300 ~ 500	무근	S212	210 ~ 460	무근
S213	-	철근배근	S214	300 ~ 480	무근
S215	240 ~ 490	무근	S216	260 ~ 460	무근
S217	290 ~ 500	무근	S218	250 ~ 460	무근
S219	210 ~ 440	무근	S220	220 ~ 380	무근
S221	260 ~ 450	무근	S222	260 ~ 450	무근
S223	-	철근배근	S224	-	철근배근
S225	-	철근배근	S226	-	철근배근
S227	-	철근배근	S228	-	철근배근
S229	-	철근배근			

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S1	-	철근배근	S2	-	철근배근
S3	-	철근배근	S4	-	무근
S5	360 ~ 470	무근	S6	310 ~ 450	무근
S7	250 ~ 390	무근	S8	280 ~ 380	무근
S9	270 ~ 460	무근	S10	260 ~ 480	무근
S11	280 ~ 410	무근	S12	280 ~ 470	무근
S13	350 ~ 500	무근	S14	300 ~ 500	무근
S15	230 ~ 440	무근	S16	230 ~ 440	무근
S17	320 ~ 470	무근	S18	340 ~ 470	무근
S19	390 ~ 490	무근	S20	320 ~ 520	무근
S21	270 ~ 460	무근	S22	290 ~ 470	무근
S23	360 ~ 490	무근	S24	340 ~ 500	무근
S25	310 ~ 450	무근	S26	310 ~ 460	무근
S27	230 ~ 420	무근	S28	250 ~ 460	무근
S29	300 ~ 490	무근	S30	270 ~ 440	무근
S31	270 ~ 430	무근	S32	310 ~ 470	무근
S33	320 ~ 450	무근	S34	-	철근배근
S35	180 ~ 370	무근	S36	220 ~ 400	무근
S37	220 ~ 440	무근	S38	250 ~ 420	무근
S39	280 ~ 440	무근	S40	230 ~ 460	무근
S41	220 ~ 400	무근	S42	210 ~ 420	무근
S43	260 ~ 420	무근	S44	330 ~ 470	무근
S45	290 ~ 510	무근	S46	240 ~ 490	무근
S47	390 ~ 530	무근	S48	340 ~ 510	무근
S49	370 ~ 560	무근	S50	-	철근배근
S51	400 ~ 570	무근	S52	370 ~ 550	무근
S53	360 ~ 580	무근	S54	350 ~ 530	무근
S55	250 ~ 450	무근	S56	300 ~ 470	무근
S57	380 ~ 530	무근	S58	310 ~ 570	무근
S59	370 ~ 510	무근	S60	410 ~ 550	무근
S61	340 ~ 540	무근	S62	290 ~ 450	무근
S63	350 ~ 500	무근	S64	260 ~ 490	무근
S65	250 ~ 460	무근	S66	-	철근배근
S67	220 ~ 500	무근	S68	200 ~ 470	무근
S69	350 ~ 500	무근	S70	340 ~ 520	무근
S71	350 ~ 540	무근	S72	310 ~ 500	무근
S73	220 ~ 450	무근	S74	350 ~ 530	무근
S75	340 ~ 510	무근	S76	390 ~ 520	무근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S77	-	철근배근	S78	-	철근배근
S79	-	철근배근	S80	-	철근배근
S81	-	철근배근	S82	-	무근
S83	-	무근	S84	310 ~ 540	무근
S85	290 ~ 500	무근	S86	280 ~ 530	무근
S87	350 ~ 520	무근	S88	350 ~ 520	무근
S89	200 ~ 510	무근	S90	240 ~ 520	무근
S91	200 ~ 530	무근	S92	190 ~ 440	무근
S93	260 ~ 550	무근	S94	310 ~ 560	무근
S95	320 ~ 540	무근	S96	310 ~ 580	무근
S97	240 ~ 550	무근	S98	400 ~ 590	무근
S99	380 ~ 560	무근	S100	390 ~ 570	무근
S101	350 ~ 530	무근	S102	350 ~ 520	무근
S103	420 ~ 600	무근	S104	450 ~ 580	무근
S105	450 ~ 600	무근	S106	470 ~ 580	무근
S107	-	무근	S108	390 ~ 530	무근
S109	310 ~ 590	무근	S110	320 ~ 540	무근
S111	370 ~ 580	무근	S112	290 ~ 550	무근
S113	280 ~ 520	무근	S114	290 ~ 470	무근
S115	220 ~ 450	무근	S116	340 ~ 520	무근
S117	-	무근	S118	410 ~ 560	무근
S119	350 ~ 550	무근	S120	340 ~ 540	무근
S121	370 ~ 580	무근	S122	280 ~ 500	무근
S123	-	무근	S124	400 ~ 510	무근
S125	400 ~ 530	무근	S126	270 ~ 540	무근
S127	300 ~ 570	무근	S128	230 ~ 430	무근
S129	260 ~ 540	무근	S130	-	무근
S131	310 ~ 510	무근	S132	360 ~ 530	무근
S133	370 ~ 550	무근	S134	280 ~ 480	무근
S135	320 ~ 500	무근	S136	340 ~ 480	무근
S137	340 ~ 530	무근	S138	250 ~ 450	무근
S139	310 ~ 500	무근	S140	380 ~ 530	무근
S141	370 ~ 480	무근	S142	320 ~ 520	무근
S143	350 ~ 510	무근	S144	320 ~ 530	무근
S145	290 ~ 490	무근	S146	370 ~ 540	무근
S147	290 ~ 420	무근	S148	-	무근
S149	-	무근	S150	-	철근배근
S151	-	철근배근	S152	-	철근배근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S153	-	철근배근	S154	-	철근배근
S155	-	철근배근	S156	400 ~ 480	무근
S157	320 ~ 450	무근	S158	370 ~ 440	무근
S159	340 ~ 460	무근	S160	360 ~ 480	무근
S161	270 ~ 500	무근	S162	390 ~ 540	무근
S163	300 ~ 430	무근	S164	-	무근
S165	300 ~ 520	무근	S166	-	무근
S167	-	무근	S168	360 ~ 430	무근
S169	390 ~ 550	무근	S170	-	무근
S171	-	무근	S172	-	무근
S173	340 ~ 470	무근	S174	-	무근
S175	330 ~ 550	무근	S176	240 ~ 470	무근
S177	290 ~ 500	무근	S178	370 ~ 480	무근
S179	300 ~ 390	무근	S180	360 ~ 420	무근
S181	-	철근배근	S182	320 ~ 490	무근
S183	400 ~ 510	무근	S184	380 ~ 520	무근
S185	250 ~ 420	무근	S186	220 ~ 470	무근
S187	390 ~ 520	무근	S188	400 ~ 520	무근
S189	440 ~ 530	무근	S190	270 ~ 590	무근
S191	240 ~ 520	무근	S192	310 ~ 480	무근
S193	330 ~ 520	무근	S194	390 ~ 540	무근
S195	300 ~ 510	무근	S196	240 ~ 510	무근
S197	-	철근배근	S198	370 ~ 550	무근
S199	290 ~ 480	무근	S200	310 ~ 490	무근
S201	430 ~ 530	무근	S202	360 ~ 590	무근
S203	320 ~ 570	무근	S204	270 ~ 530	무근
S205	280 ~ 610	무근	S206	240 ~ 480	무근
S207	250 ~ 460	무근	S208	280 ~ 520	무근
S209	-	무근	S210	280 ~ 490	무근
S211	130 ~ 510	무근	S212	270 ~ 520	무근
S213	-	철근배근	S214	300 ~ 500	무근
S215	140 ~ 470	무근	S216	280 ~ 510	무근
S217	200 ~ 360	무근	S218	230 ~ 350	무근
S219	220 ~ 460	무근	S220	260 ~ 430	무근
S221	270 ~ 390	무근	S222	250 ~ 400	무근
S223	-	철근배근	S224	-	철근배근
S225	-	철근배근	S226	-	철근배근
S227	-	철근배근	S228	-	철근배근
S229	-	철근배근	S230		

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선)

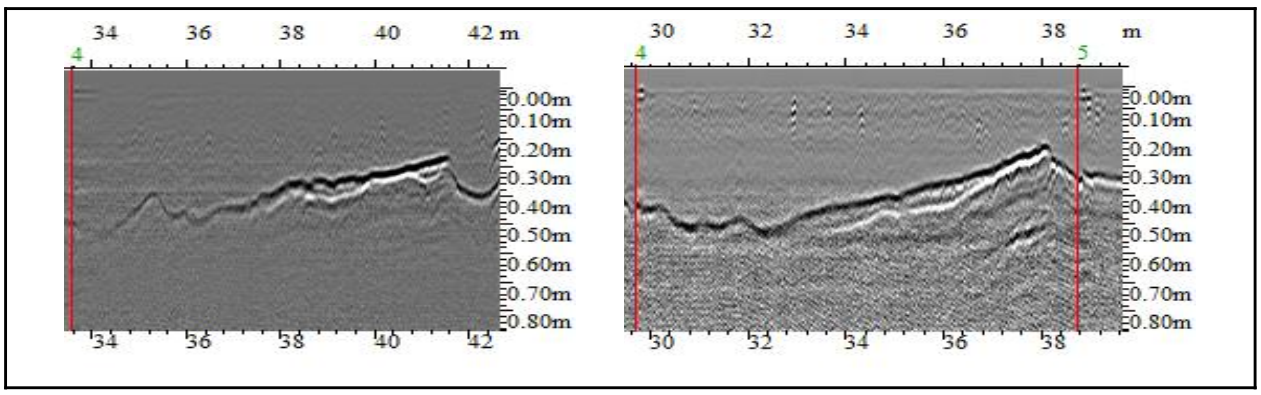
Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부	Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부
S1(3.0m)	-	철근배근	S3(22.0m)	-	철근배근
S21(178.0m)	290 ~ 340	무근	S38(337.0m)	340 ~ 420	무근
S56(495.0m)	350 ~ 490	무근	S73(648.0m)	350 ~ 470	무근
S92(803.0m)	310 ~ 430	무근	S109(961.0m)	270 ~ 340	무근
S124(1095.0m)	280 ~ 390	무근	S142(1254.0m)	390 ~ 470	무근
S151(1340.0m)	-	철근배근	S165(1449.0m)	-	철근배근
S170(1491.0m)	210 ~ 380	무근	S188(1657.0m)	200 ~ 350	무근
S207(1821.0m)	240 ~ 350	무근	S224(1975.0m)	-	철근배근

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

1.3.3 이상반사파 탐사구간

과업대상구간에 대한 분석결과 특정 구간에서 이상반사파가 탐사되었으며, 탐사된 이상반사파는 심도 및 이상반사파의 형상으로 판단할 때 콘크리트 라이닝과 숏크리트 사이의 경계부에서 발생된 들뜸현상으로 판단된다.

다음은 S143, S200 천단부에 대한 종측선 탐사결과이며 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~80㎜ 두께, 5.5m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.13%로 조사되었다. 경계부 들뜸으로 추정되는 구간에서 균열 집중 등의 연관 문제점은 관찰되지 않으며 현 상태에서 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다. 이상반사파가 탐지된 위치는 G.P.R 탐사결과 부록에 도식화하여 수록하였다.



【그림 1.3.5】 이상반사파 탐사결과(S143, S200)

【표 1.3.8】이상반사파 탐사구간

구 분	탐사연장	이상반사파 탐사구간		지보패턴
		Span No.	조사연장	
종측선(천단부)	2,027m	S143	2.5m	T-3
		S200	3.0m	T-4
종측선(어깨부)	2,027m	-	-	
횡측선	62m	-	-	
합계	**4,116m**	**5.5m**		**0.13%**

1.3.4 강지보공

준공설계도상 강지보공은 지보패턴 T-4, T-5, T-6구간에 시공되어 있으며, 아래 표에서와 같이 강지보공이 설치된 구간은 연장대비 21.76%이다.

탐사결과 강지보재는 설계간격과 비교하였을 경우 측정된 구간에서는 대부분 설계치를 만족하는 결과를 나타내었다. 준공도상 강지보공이 시공되었으나 실측결과 탐사되지 않은 구간은 철근 및 와이어메쉬의 간섭, 유전율 및 조사여건에 의해 반사파가 미약하여 확인이 곤란하였다.

【표 1.3.9】강지보공 탐사구간

지보패턴	Span No.	준공도		강지보공탐사(m)		비고
		연장(m)	연장비(%)	설계간격	탐사간격	
T-4	S13~S20	72	3.53	1.5	0.92~1.51	
	S199~S209	99	4.85	1.5	0.97~1.28	
T-5	S7~S12	54	2.65	1.2	0.73~1.16	
	S210~S216	63	3.09	1.2	0.74~1.30	
T-6	S4~S6	26	1.27	0.6	0.43~0.57	
	S217~S231	130	6.37	0.6	0.44~0.72	
합계		**444**	**21.76**	-		

1.3.5 G.P.R 탐사결과

본 터널에 대한 G.P.R 탐사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 콘크리트 라이닝 두께는 탐사대비연장율 99.72%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 140㎜~650㎜, 어깨부 종측선에서 130㎜~610㎜, 횡측선에서 200㎜~490㎜로 나타났으며 천단부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

2) 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 천단부 종측선 S28, S41, S42, S46, S92, S94, S126, S127, S173, S186, 어깨부 종측선 S35, S92, S211, S215에서 나타났으며 연장율은 0.28%로 조사되었다.

3) 이상반사파 탐사결과 S143, S200구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~80㎜ 두께, 5.5m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.13%로 조사되었다.

4) 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.72%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

제 2장 시설물의 상태평가

2.1 구간분할

2.2 상태평가 결과

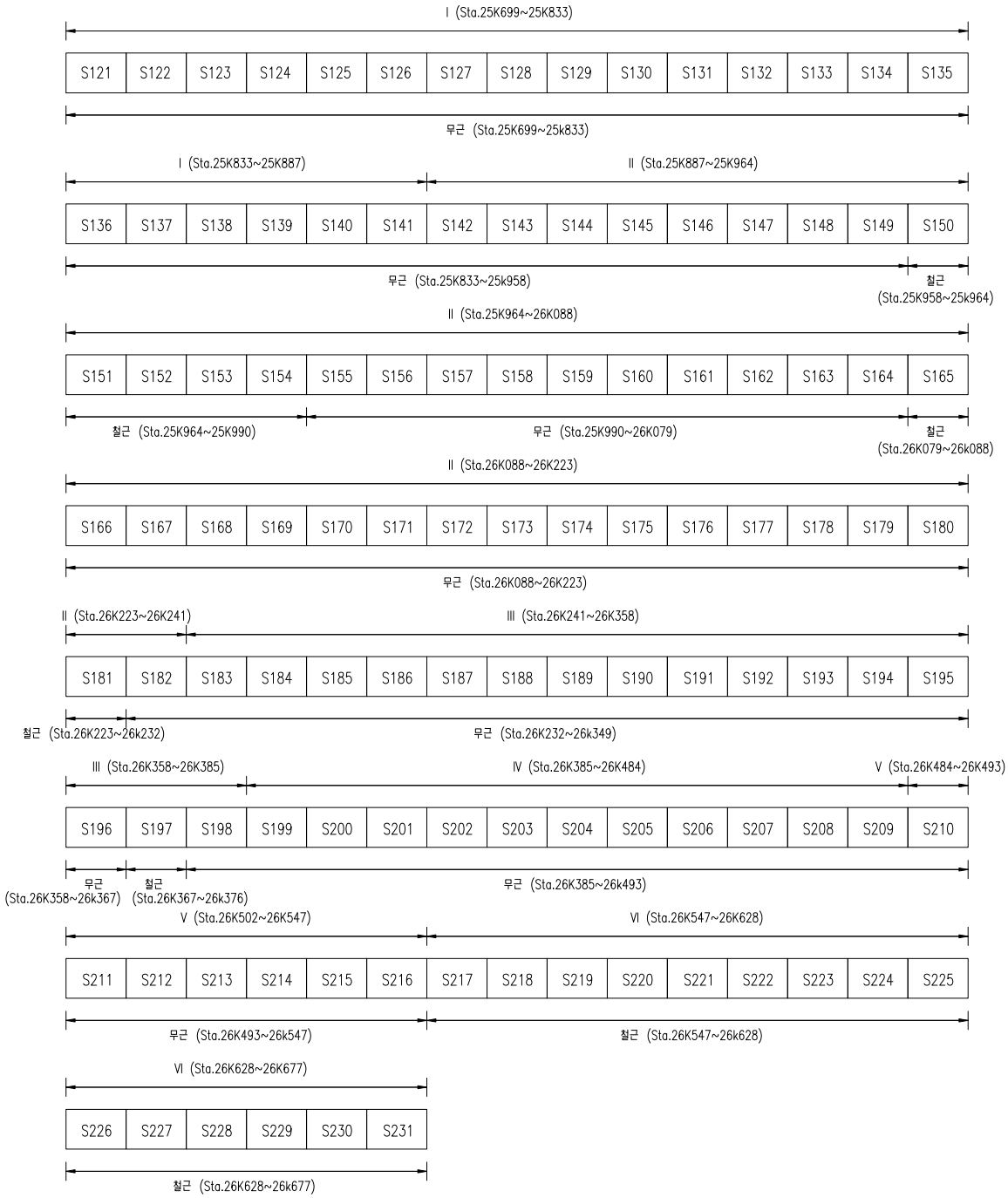
제 2장 시설물의 상태평가

2.1 구간분할

정밀안전진단을 위한 외관조사, 각종 내구성조사 및 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위해서는 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 무척산터널(대구)는 NATM 형식의 터널로서 231 Span으로 시공되었으며, 철근배근 구간과 무근 구간, 부가시설물에 대한 연장비를 고려하여 상태평가를 진행하였으며, 구조물의 상태평가를 위한 구간분할 현황은 다음과 같다.



【그림 2.1.1】Span별 시공현황 및 구간분할(대구)



【그림 2.1.1】Span별 시공현황 및 구간분할(대구, 계속)

2.2 상태평가 결과

2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S1	개착	0.3	c	-	a	-	-	a	
S2	개착	0.2	b	-	a	-	-	a	
S3	개착	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S4	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S5	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S6	철근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S7	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S8	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S9	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S10	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S11	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S12	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S13	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S14	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S15	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S16	무근	0.2~2.0	d	-	a	-	-	a	
S17	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S18	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S19	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S20	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S21	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S22	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S23	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S24	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S25	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S26	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S27	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S28	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S29	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S30	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S31	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S32	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S33	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S34	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S35	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S36	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S37	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S38	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S39	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S40	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S41	무근	0.3~3.0	e	-	a	-	-	a	
S42	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S43	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S44	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S45	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S46	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S47	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S48	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S49	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S50	철근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S51	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S52	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S53	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S54	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S55	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S56	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S57	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S58	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S59	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S60	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S61	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S62	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S63	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S64	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S65	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S66	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S67	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S68	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S69	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S70	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S71	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S72	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S73	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S74	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S75	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S76	철근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S77	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S78	철근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S79	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S80	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S81	무근	0.3~2.0	d	-	a	-	-	a	
S82	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S83	무근	0.2~3.0	e	-	a	-	-	a	
S84	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S85	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S86	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S87	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S88	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S89	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S90	무근	0.2~3.0	e	-	a	-	-	a	
S91	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S92	무근	0.3~2.0	d	-	a	-	-	a	
S93	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S94	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S95	무근	0.2~3.0	e	-	a	-	-	a	
S96	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S97	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S98	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S99	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S100	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S101	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S102	무근	0.1~1.0	d	-	a	-	-	a	
S103	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S104	무근	0.1~3.0	e	-	a	-	-	a	
S105	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S106	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S107	무근	0.5~1.0	d	-	a	-	-	a	
S108	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S109	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S110	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S111	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S112	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S113	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S114	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S115	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S116	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S117	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S118	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S119	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S120	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S121	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S122	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S123	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S124	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S125	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S126	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S127	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S128	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S129	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S130	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S131	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S132	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S133	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S134	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S135	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S136	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S137	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S138	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S139	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S140	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S141	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S142	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S143	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S144	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S145	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S146	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S147	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S148	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S149	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S150	철근	0.2~0.8	e	-	a	-	-	a	
S151	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S152	철근	0.1~0.5	d	-	a	-	-	a	
S153	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S154	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S155	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S156	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S157	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S158	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S159	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S160	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S161	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S162	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S163	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S164	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S165	철근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S166	무근	3.0	e	-	a	-	-	a	
S167	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S168	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S169	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S170	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S171	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S172	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S173	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S174	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S175	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S176	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S177	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S178	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S179	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S180	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S181	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S182	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S183	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S184	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S185	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S186	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S187	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S188	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S189	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S190	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S191	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S192	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S193	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S194	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S195	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S196	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S197	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S198	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S199	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S200	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S201	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S202	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S203	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S204	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S205	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S206	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S207	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S208	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S209	무근		a	-	a	-	-	a	
S210	무근	0.2~3.0	e	-	a	-	-	a	
S211	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S212	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S213	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S214	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S215	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S216	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S217	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S218	철근	0.3~1.0	e	-	a	-	-	a	
S219	철근	0.5	d	-	a	-	-	a	
S220	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S221	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S222	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S223	철근	0.5	d	-	a	-	-	a	
S224	철근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S225	철근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S226	철근	0.4~0.5	d	-	a	-	-	a	
S227	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S228	철근	0.2~0.5	d	-	a	-	-	a	
S229	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S230	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S231	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
결과		c (5.816)		a (0.000)		c (0.283)			

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S1	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S2	개착	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	65.3	a	0.267	a	
S3	개착	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	71.8	a	0.312	b	
S4	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	76.7	a	0.278	a	
S5	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	50.1	a	0.260	a	
S6	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S7	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S8	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S9	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S10	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S11	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S12	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S13	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S14	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S15	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S16	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S17	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S18	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	
S19	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S20	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S21	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S22	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S23	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S24	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S25	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S26	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S27	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S28	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S29	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S30	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S31	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S32	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S33	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S34	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S35	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S36	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S37	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S38	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S39	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S40	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S41	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S42	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S43	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S44	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S45	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S46	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S47	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S48	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S49	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S50	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	56.7	a	0.271	a	
S51	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S52	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S53	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S54	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S55	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S56	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S57	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S58	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S59	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S60	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S61	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S62	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S63	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S64	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S65	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S66	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S67	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S68	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S69	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S70	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S71	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S72	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S73	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S74	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S75	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S76	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S77	철근	134.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S78	철근	179.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	49.0	a	0.291	a	
S79	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S80	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S81	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S82	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S83	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S84	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S85	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S86	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S87	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S88	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S89	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S90	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S91	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S92	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S93	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S94	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S95	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S96	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S97	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S98	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S99	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S100	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S101	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S102	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S103	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S104	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S105	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S106	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S107	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S108	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S109	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S110	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S111	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S112	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S113	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S114	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S115	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S116	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S117	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S118	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S119	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S120	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S121	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S122	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S123	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S124	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S125	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S126	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S127	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S128	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S129	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S130	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S131	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S132	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S133	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S134	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S135	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S136	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S137	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S138	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S139	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S140	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S141	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S142	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S143	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S144	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S145	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S146	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S147	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S148	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S149	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S150	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S151	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S152	철근	179.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S153	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S154	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S155	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S156	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S157	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S158	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S159	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S160	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S161	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S162	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S163	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S164	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S165	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	52.1	a	0.278	a	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S166	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S167	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S168	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S169	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S170	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S171	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S172	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S173	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S174	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S175	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S176	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S177	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S178	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S179	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S180	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S181	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S182	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S183	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S184	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S185	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S186	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S187	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S188	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S189	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S190	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S191	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S192	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S193	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S194	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S195	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S196	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S197	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	62.8	a	0.276	a	
S198	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S199	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S200	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S201	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S202	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S203	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S204	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S205	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S206	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S207	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S208	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S209	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S210	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S211	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S212	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S213	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S214	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S215	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S216	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S217	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S218	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S219	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S220	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S221	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S222	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S223	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S224	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S225	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S226	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S227	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S228	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S229	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	42.5	a	0.278	a	
S230	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S231	철근	78.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
결과			a (0.000)		c (0.283)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.004)		

2.2.2 터널주변 상태평가 결과

가. 배수상태

【표 2.2.3】터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과

구분	오염됨	배수불량 및 막힘	특이사항
결함점수	-	-	-
결 과	· 비교적 양호한 상태임 - 배수로는 전체적으로 양호하며, 집수구의 경미한 토사퇴적		

나. 지반상태

【표 2.2.4】터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과

구분	풍화변질 및 단층파쇄대				특이사항
	풍화변질	단층파쇄대			
		영향범위 외	영향범위 내		
			중·소규모 단층	대규모 단층	
결함점수	-	1.0	-	-	-
결 과	· 풍화변질이 없으며, 단층파쇄대 영향범위 외임				

다. 갱문(접속부)상태

【표 2.2.5】터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과

구분	손상		특이사항
	보통인 상태	불량한 상태	
결함점수	-	-	-
결 과	· 비교적 양호한 상태임		

라. 공동구상태

【표 2.2.6】터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과

구분	덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수	특이사항
결함점수	0.5	-	-
결 과	· 일부 공동구 덮개 파손 및 균열이 조사됨		

2.2.3 부대시설 상태평가 결과

가. 균열, 누수, 파손 및 손상

【표 2.2.7】피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도 (%)	손상면적 (㎡)	등급	
A-S1	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	a	e	
A-S2	철근	-	a	-	a	-	-	a	
A-S3	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S1	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S2	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S3	철근	-	a	-	a	-	-	a	
결과		a (1.000)		a (0.000)		a (0.000)			

나. 재질열화

【표 2.2.8】피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화								특이 사항
			박리		층분리/박락		백태/재료분리		철근노출		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	
A-S1	철근	45.0	-	a	-	a	-	a	22.2	e	
A-S2	철근	30.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
A-S3	철근	25.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S1	철근	45.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S2	철근	30.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S3	철근	25.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
결과			a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		b (0.017)		

2.2.4 상태평가 결과

가. 기본시설물 상태평가 결과

【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과

라이닝	본선 라이닝 상태										터널주변 상태					결함 점수 합계	결함 지수
	균열	누수	파손 손상	박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건		
철근 콘크리트	6.22	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.93	0.184
무근 콘크리트	5.75	0.00	0.00	0.00	0.30	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.55	0.222

【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
무척산터널 (대구)	NATM	철근	299.0	0.147	b	0.184	0.027
		무근	1,741.0	0.853	b	0.222	0.189
합계				1.000	-	0.406	0.216

결함지수	0.216
기본시설물 상태평가결과	B

나. 부대시설물 상태평가 결과

【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과

라이닝	균열	누수	파손 손상	재질열화							결함 점수 합계	결함 지수
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
철근 콘크리트	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	-	-	1.167	0.032

결함지수	0.032
부대시설 상태평가 결과	A

다. 전체시설물 상태평가 결과

【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과

시설물명	구조 형식	기본시설물		부대시설 가중치 (W)	전체시설물 상태평가 (F×W)
		상태평가결과	결함지수(F)		
무척산터널 (대구)	NATM	B	0.216	1.00	0.216

결함지수	0.216
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.216}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.216$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.216) < 0.300

2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교

- 최종 상태평가 결과, 상태기준은 "B"로 평가되었으며, '13년 정밀점검 이후 구조적 영향을 미칠만한 손상에 진전은 없는 것으로 조사되었다.
- 기 조사된 손상중 일부분 보수가 실시되었으나, 기 점검시 미보수된 손상과 보수부 재손상이 발생하였고 공용중 손상 증가와 금회 진단시 점검장비를 이용한 근접조사에 따른 추가 손상이 조사됨에 따라 결함지수가 0.130 ⇨ 0.216으로 증가한 것으로 분석되었다.

【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	a	0.130	b	0.184	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.100	b	0.222	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.032	
전체시설물 (연장비 적용)		A	0.130	B	0.216	

제 3장 시설물의 안전성 평가

3.1 개 요

3.2 해석조건 및 방법

3.3 해석결과 및 분석

3.4 결론

제 3장 시설물의 안전성 평가

3.1 개요

3.1.1 검토 개요

- 본 과업의 구조안전성 검토는 무척산터널에 대한 지반거동해석과 지보재에 대한 안전검토를 실시하였다.
- 구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는 것이므로 설계도서 검토 및 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통한 충분한 기초자료를 확보하여 이를 바탕으로 수치해석에 의해 안전성 여부를 판단하여야 한다.
- 터널해석은 지반을 연속체 요소로 가정하고 숏크리트와 및 Rock Bolt 같은 지보재 설치를 포함한 다단계 터널굴착 시공을 실제와 유사하게 Simulation하여 터널에 발생하는 변위와 터널의 지보재에 작용하는 응력, 전단력 및 모멘트를 수치해석 프로그램으로 해석하여 굴착 후 안전성 파악하고자 한다.
- 터널의 굴착 및 지보 형태에 따른 지반의 역학적 거동과 안전성을 평가하기 위하여 국내에서 많이 사용되는 범용 프로그램인 MIDAS GTS을 사용하여 해석을 수행하였으며, 해석에 이용된 입력정수들은 기존 설계 자료인『부산～대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 터널보고서(제7공구:고정～가곡)』,『부산～대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 토질조사보고서(제7공구:고정～가곡)』자료들을 근거로 암반의 공학적 분류방법을 통하여 자료를 분류하였고, 실제의 굴착 단계를 고려하여 터널 거동분석을 수행하였다.

【표 3.1.1】안전성 평가항목

항 목	평 가 내 용
터널지반해석	◦연속체 역학에 근거한 유한요소해석 ◦지반물성은 기 진단자료 및 각종문헌 참조 ◦주변지반 및 터널구조물의 안전성 검토 - 터널주변지반의 응력분포 - 지보재의 응력검토(숏크리트, 락볼트)

3.1.2 검토위치 선정

터널의 안전성 검토를 위한 해석단면은 외관조사 및 내구성 조사결과에 의한 터널 부재별 상태평가를 분석하고, 지반탐사 및 각종 설계 자료의 분석결과를 고려하여 위치를 선정하여야 한다.

가. 기초자료 검토

- 병렬터널로서 NATM 공법으로 시공되었으며, 개착식 구간을 제외한 본선터널의 표준지보형식은 T-1, 2, 3, 4, 5, 6으로 시공되었다.
- 굴진방법은 상·하반 반단면 굴착공법이며 터널은 대부분 연·경암반 이상의 암반에 위치해 있다.
- 지층구성은 토사-풍화암-연암-경암층의 순서이며, 지반정수 및 지층단면 등은 토질조사보고서와 설계도서를 준용하여 적용하였다.
- 기초자료 검토결과 최대 측압계수(KO=1.37)를 고려하여 적용하였다.

나. 해석위치 결정

- 시추조사 및 실내시험 결과를 바탕으로 지형이나 지질이 불리하다고 판단되는 지점
- 토피가 낮고 갱문 설치로 인하여 구조적으로 지반의 이완이 극대화 되는 지점
- 최대 편토압이 예상되거나 지상에 중요 구조물이 위치하는 경우

3.2 해석조건 및 방법

3.2.1 일반사항

- 구조형상 및 단면치수는 설계도면과 현장 실측자료를 통한 현재 상태를 고려하여 결정한다.
- 안전성평가를 위한 적용설계방법은 주지보재인 숏크리트와 록볼트는 허용응력설계법의 규정에 따라 검토한다.

3.2.2 적용된 수치해석 프로그램

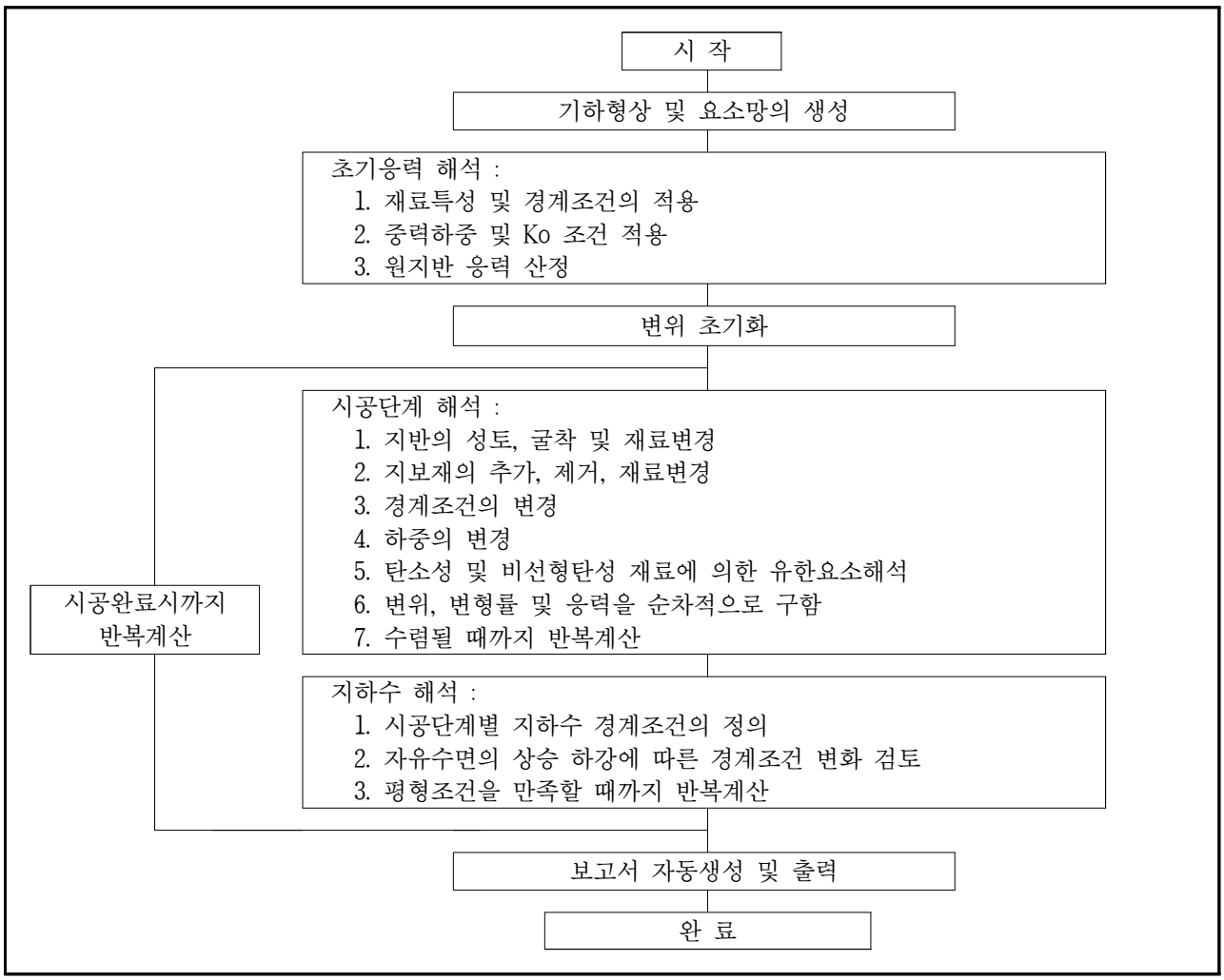
가. MIDAS/GTS

1) 프로그램 소개

한국 (주)마이다스아이티에서 개발한 MIDAS/GTS는 지반 및 구조에 대하여 2차원 및 3차원 해석을 위하여 개발된 유한요소해석 프로그램이다. 정해석, 동해석 이외에 정상 및 비정상 침투류 해석과 열전달 문제를 해석할 수 있다. MIDAS/GTS는 자체 프로그램 내에 해석기능은 물론 요소망 자동생성 및 물성치, 경계조건, 하중 조건 및 시공단계 등을 정의할 수 있는 전처리 기능과 해석결과를 그래픽으로 출력하는 후처리기능을 포함하고 있다.

2) 해석 절차

MIDAS/GTS 프로그램에 의한 해석순서는 아래 그림과 같이 절점좌표와 요소망을 원지반 상태에서 정의하고 시공단계에 따라 요소를 제거 또는 추가하면서 발생하는 불평형력을 줄여나가는 단계해석으로 이루어지며 그 과정은 다음과 같다.



【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도

3) 해석 기법

지반의 물리적 특성을 탄성 및 탄소성 이론을 도입하여 구조적으로 적당한 미소 요소로 분할해서 각 요소가 유한개의 점으로 연결되는 요소로 가정한 Model로 고려하여 수치적 해석을 수행한다.

① 지반에 대한 역학 Model

지반에 대한 거동 및 응력 분석은 2차원 평면 변형 요소 및 3차원 고체요소를 사용하고 탄소성 이론을 도입하여 연속체로 해석하였으며, 지반 재료의 거동은 Mohr-Coulomb 파괴기준을 Model화하여 분석하였다.

② 초기 응력

초기 응력이란 굴착 작업전의 응력 상태를 말하며 전 요소의 절점 변위를 0으로 하고 절점 응력은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\sigma_y = \gamma \cdot h$$

$$\sigma_x = \sigma_z = K_0 \cdot \sigma_y$$

③ 해방력

지반을 지중 굴착할 때 초기 응력을 받고 있는 지반이 굴착부분에서 응력의 해방을 받게 된다. 이때 이 자유면이 받는 하중은 초기 응력으로부터 계산되는데 이 하중을 해방력이라고 한다.

④ 지보재 모델

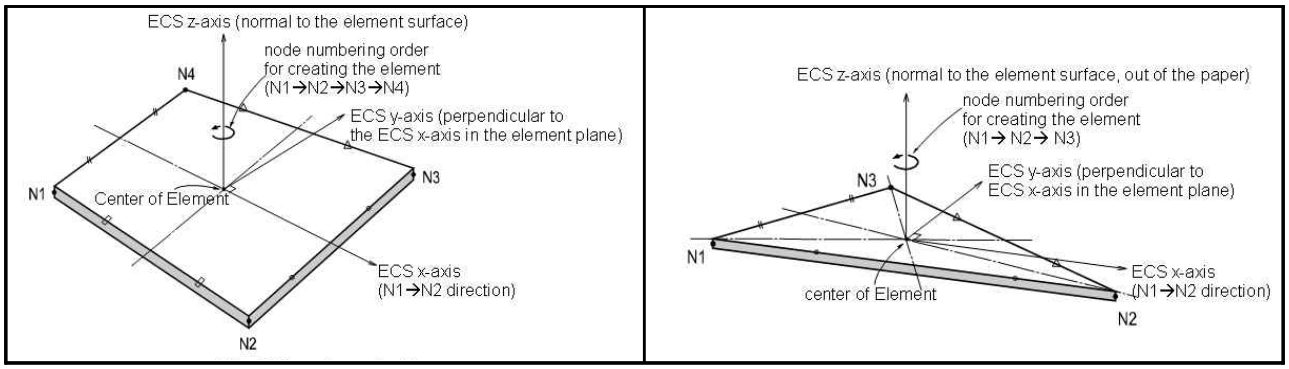
지보재는 터널과 같은 지중내 굴착면에서의 붕괴를 방지하고 그 기능과 형상을 유지할 목적으로 실시하고 있으며 주지보재로는 Shotcrete, Rock Bolt, Steel Rib 등이 이용되고 있다. 본 프로그램에서는 지보재는 다음과 같은 요소로 입력되어 해석된다.

- 숏크리트 요소 : Plate 요소

이 요소는 동일 평면상에 위치한 3, 4, 6, 8개의 절점에 의해 정의되는 판요소(3D plate element)이다. 판요소는 평면인장/압축거동, 평면전단거동, 두께방향의 휨거동, 두께방향의 전단거동을 고려한다. 그러므로 콘크리트 라이닝(concrete lining), 숏크리트(shotcrete), 토류벽, 기초판 등의 모델링에 사용될 수 있다.

판요소 두께는 면내강성(in-plane stiffness)을 계산하기 위한 것과 면외강성(out-of-plane stiffness)을 계산하기 위한 것으로 구분하여 입력한다. 일반적으로 자중이나 질량의 계산에는 면내강성의 계산을 위한 두께가 사용되지만 면외강성의 계산을 위한 두께만 입력되는 경우에는 면외방향 두께가 사용된다.

판요소로 곡면구조를 모델링 할 때는 인접한 요소간의 각도가 10° 를 넘지 않도록 해야하며, 엄밀해가 요구되는 부위에서는 2~3° 를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다.

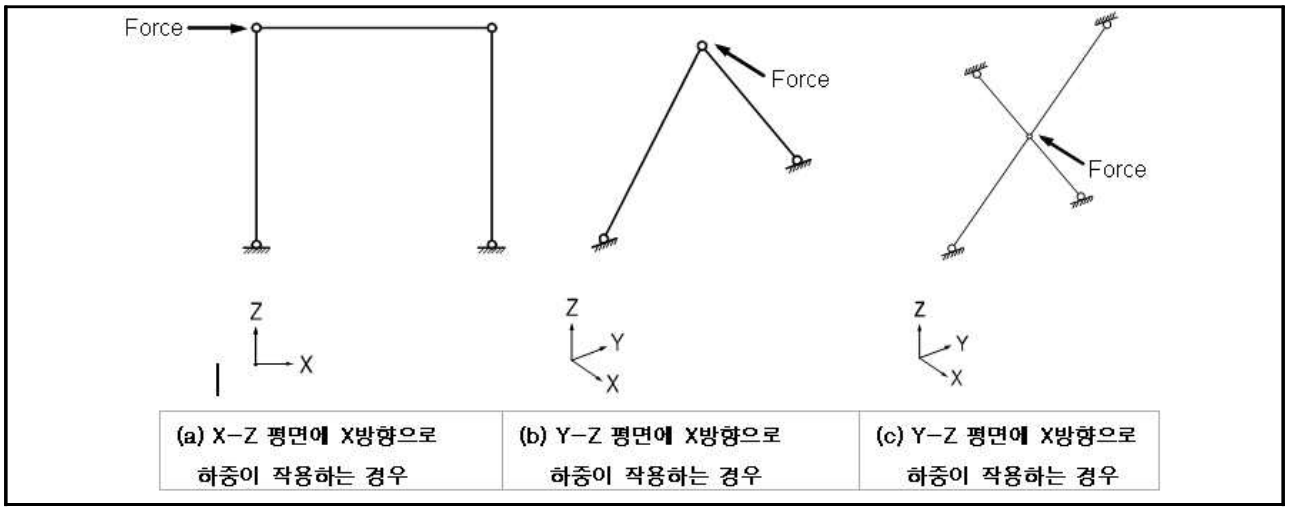


【그림 3.2.2】요소좌표계

- 록볼트 요소 : Truss 요소

GTS의 트러스요소는 2개의 절점에 의해 정의되는 “uniaxial tension-compression 3D line element“이다. 즉, 요소축 방향의 힘만 전달할 수 있는 요소를 의미하며, 일반적으로 록볼트(rock-bolt), 앵커(anchor) 및 버팀대(strut) 등의 모델링에 사용된다.

트러스요소는 회전강성이 없어서 양단의 연결절점에서 회전변위에 대한 자유도를 갖지 못하므로, 트러스요소끼리 연결할 경우에는 그림과 같은 불안정구조체가 되지 않도록 주의해야 한다.



【그림 3.2.3】Truss 요소

⑤ 구성모델

MIDAS/GTS 프로그램에서 제공하는 재료모델 및 응력-변형 구성모델은 실무분야에서 시공단계해석을 적용하는데 최적의 해석환경을 제공하고, 또한 다음과 같이 지반 및 터널분야 해석에 필요한 다양한 해석법이 내장되어 있다.

· Linear Elastic · Mohr-Coulomb· Tresca
· Von Mises · Drucker-Prager · Transversely Isotrophic
· Duncan-Chang· Hoek-brown · Jointed Rock
· Cam-Clay · Modify Cam-Clay · Strain Softening
· 2D/3D Interface

3.2.3 해석조건

- 해석모델은 지반의 경우 평면변형율 조건하에서 Mohr-Coulomb 탄소성모델을 적용하였다.
- 경계조건으로는 해석영역의 좌·우측은 Roller로 하여 X축의 변위는 고정하고 Y축 변위는 허용하였으며, 하부는 Hinge로 하여 X축, Y축의 변위를 고정하고 회전은 허용하였다.
- 해석영역은 측방향으로는 터널 폭의 4.0배 이상 하부는 4.0배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 정하였다.
- 해석모델은 지반의 경우 평면변형율 조건하에서 비선형탄성 해석법인 Hyperbolic 모델(Mohr-Coulomb 모델)을 사용하였다.
- 기초자료 검토결과 최대 측압계수(KO=1.37)를 고려하여 해석단면별 측압계수 0.5, 1.0, 1.5를 적용하여 CASE별로 해석하였다.

3.2.4 지반정수 결정

수치해석에 적용하는 지반 물성치는 정교한 해석방법과 관련지어볼 때 매우 중요하다. 해석에 적용하기 위한 지반 물성치를 얻기 위해서 어떠한 방법을 사용하더라도, 이러한 방법은 주어진 목적에 합당해야 사용될 수 있다.

이러한 측면에서 터널에 미치는 영향검토를 위해 필요한 지반 물성치는 설계도서를 비롯한 공사 중이나 공사완료후의 지반조사결과와 각종문헌 및 여러 학자들이 제안한 상관관계식을 토대로 역학적 성질을 비교분석하여 토층조건에 맞게 가장 합리적으로 산정하였다.

가. 문헌자료 검토

지반공학과 관련한 사항을 검토하기 위해 일반적으로 적용되는 지반 물성치는 강도특성, 압축특성, 중량-체적에 관련된 데이터로서 각 항목에 대해서 다음과 같은 지반 물성치를 산정한다.

1) 강도특성 (Strength Parameters)
   - 탄성계수(E), 포아송비(ν), 내부마찰각(ϕ), 점착력(c)
2) 중량, 체적에 관련된 데이터 (Gravimetric-Volumetric Data)
   - 단위중량(γ), 간극비(e)

① 지반의 탄성계수 및 포아송비

【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수

지반의 종류		탄성계수 (kgf/㎠)
PEAT		1 ~ 15
점 토	보 드 럽 다	5 ~ 40
	보 통	40 ~ 80
사 층	느 슨 하 다	80 ~ 150
	견 고 하 다	100 ~ 200
	단 단 하 다	500 ~ 800
자 갈	밀실한 사력	1000 ~ 2000

※ 도해토목건축 가설구조물의 해설 (명문사 P232)

【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비

지반의 종류	탄성계수 (tf/㎡)	포아송비	지반의 종류	탄성계수 (tf/㎡)	포아송비
느슨한 모래	1000 ~ 2400	0.20 ~ 0.40	모래 및 자갈	6900 ~ 17200	0.15 ~ 0.35
중간정도 촘촘한 모래	1700 ~ 2800	0.25 ~ 0.40	연약한 점토	200 ~ 500	-
촘촘한 모래	3500 ~ 5500	0.30 ~ 0.45	중간 점토	500 ~ 1000	0.20 ~ 0.50
실트질 모래	1000 ~ 1700	0.20 ~ 0.40	견고한 모래	1000 ~ 2400	-

※ 구조물 기초설계기준 (한국지반공학회)

② 지반의 탄성계수(Es)와 N치의 관계

【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계

구 분		산 정 식
Bowels (kgf/㎠)	정규압밀된 모래	Es = 5.1(N+15)
	포화된 모래	Es = 2.55(N+5)
	과압밀된 모래	Es = 183.6+7.56N
	자갈질 모래와 자갈	Es = 12.24(N+6)
	점토질 모래	Es = 3.264(N+15)
	실트질 모래	Es = 3.06(N+6)
Schltze, Menzenbach(1996) (kgf/㎠)	세사(지하수상)	Es = 52+3.3N
	세사(지하수하)	Es = 71+4.9N
	모래	Es = 39+4.5N
	자갈섞인 모래	Es = 43+11.8N
	모래 자갈	Es = 38+10.5N
	실트질 모래	Es = 23+5.3N
Schmertmann(1970) (kgf/㎠)	실트질 모래	Es = 4N
	중간 모래	Es = 7N
	거친 모래	Es = 10N
	자갈질 모래	Es = (12~18)N
	모래 자갈	Es = 38+10.5N
Meigh & Nixon(1961) (kgf/㎠)	실트질 모래	Es = 5N
	가는 실트질 모래	Es = 8N
	중간 모래	Es = 10N
	자갈질 모래	Es = (16~34)N
	자갈	Es = (24~32)N

③ 통일분류법에 의한 방법(도로설계요령, 한국도로공사)

【표 3.2.4】통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수

종 류		재료의 상태		단위중량 (tonf/㎥)	내부 마찰각(φ)	점착력 (tonf/㎡)	분류기호 (통일분류법)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인 모래	다 진 것		2.0	40	0	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은것	2.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜것	1.9	30	0	
	사 질 토	다 진 것		1.8	25	3이하	SW, SC
	점 성 토	다 진 것		1.8	15	5이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은것, 입도가 나쁜것		1.8	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		2.1	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은것		1.9	35	0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	35	0	SW, SC
		밀실하지 않은것, 입도가 나쁜것		1.8	30	0	
	사 질 토	밀실한 것		1.9	30	3 이하	SM, SC
		밀실하지 않은것		1.7	25	0	
	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감, N=8~15)		1.8	25	5 이하	ML, CL
		약간 무른것(손가락으로 중간 정도의 힘으로 들어감, N=4~8)		1.7	20	3 이하	
		무른것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감, N=2~4)		1.7	20	1.5 이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감, N=8~15)		1.7	20	5 이하	CH, MH, ML
		약간 무른것(손가락으로 중간 정도의 힘으로 들어감, N=4~8)		1.6	15	3 이하	
		무른것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감, N=2~4)		1.4	10	1.5 이하	

④ 지반의 강도정수와 N치의 관계

【표 3.2.5】에서 Meyerhof의 값은 모래의 입도가 균일한 경우(Uniform graded)는 적은 쪽의 값을 택하고, 입도의 분포가 좋은 경우(Well-graded)는 큰 쪽의 값을 택하는 것이 좋다.

【표 3.2.5】N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계

N 치	상 대 밀 도 (Df)		내 부 마 찰 각 (φ)	
			Peck	Meyerhof
0 ~ 4	매우느슨	0.0 ~ 0.2	28.5 이하	30 이하
4 ~ 10	느 슨	0.2 ~ 0.4	28.5 ~ 30	30 ~ 35
10 ~ 30	중 간	0.4 ~ 0.6	30 ~ 36	35 ~ 40
30 ~ 50	조 밀	0.6 ~ 0.8	36 ~ 41	40 ~ 45
50 이상	매우조밀	0.8 ~ 1.0	41 이상	45 이상

【표 3.2.6】은 Dunham(1954) 및 Ohsaki가 제안한 N치를 이용한 내부마찰각 추정식이다.

【표 3.2.6】N치를 이용한 내부마찰각(φ)의 추정식

구 분	내부마찰각 추정식	비 고
Dunham(1954)	$\phi = \sqrt{12N + 15}$	입자가 둥글고 입도분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N + 20}$	입자가 둥글고 입도분포가 좋은 모래 입자가 모나고 입도분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N + 25}$	입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래
Ohsaki 제안	$\phi = \sqrt{20N + 15}$	-

나. 설계 적용 지반정수

【표 3.2.7】무척산터널 설계 적용 지반정수

구분	단위중량 (t/m^3)		내부마찰각 (°)		점착력 (t/m^2)		탄성계수 (t/m^2)		포아송비	
	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2
토사	1.9	1.9	30	30	0.0	0.0	4,000	4,000	0.31	0.31
연암	2.2	2.2	38	38	10.0	10.0	80,000	100,000	0.28	0.27
경암	2.5	2.5	43	45	30.0	30.0	300,000	630,000	0.25	0.23

다. 적용 지반정수

본 터널의 검토단면의 지층구성은 상부로부터 토사-연암-경암 순으로 구성되어 있으며, 안전성 검토를 위한 지반정수 설계당시 참고문헌 및 시추조사등을 통하여 합리적인 지반정수를 산정한 것으로 판단하여 설계에 적용된 지반 정수를 적용하였다.

3.2.5 지보재 재료특성

【표 3.2.8】지보재 재료특성

구 분	단위중량 (kN/㎥)	탄성계수 (㎫)	압축강도 (㎫)	비 고
숏크리트	24.0	5,000~15,000	10.0~21.0	-
록볼트	78.5	210,000	-	-

3.2.6 검토하중

터널해석의 결과를 실제 현장문제에 적용하기 위해서는 굴착과 지보설치 등과 같은 시공과정이 반영되어야 하며, 터널굴착 과정은 주변지반의 3차원적인 응력-변형 거동을 보인다. 또한 종방향 Arching 효과가 변화하는 경향을 반영하기 위해서 2차원 해석의 각 해석단계를 3차원 터널 축상의 각 위치와 대응시켜 해석단계별로 굴착에 의해 발생하는 불균형 굴착응력을 분배하여 작용시켜야 한다. 따라서 본 해석에서는 터널에 발생된 변위가 응력수준에 비례한다는 가정 하에 하중분배율을 이용하여 단계별 굴착하중을 적용하여 해석을 수행하였다.

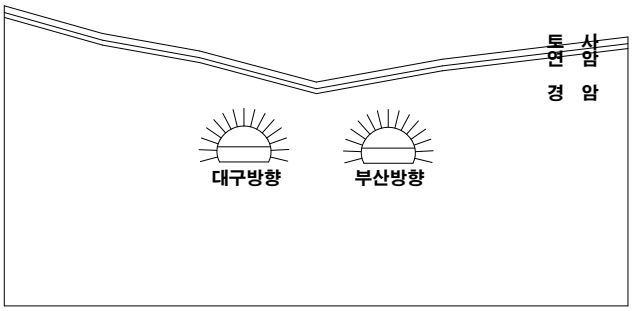
【표 3.2.9】하중분배율

구 분	굴착단계	Soft Shotcrete+R/B	Hard Shotcrete+R/B	비 고
하중분배율(%)	40	30	30	상하 반단면굴착

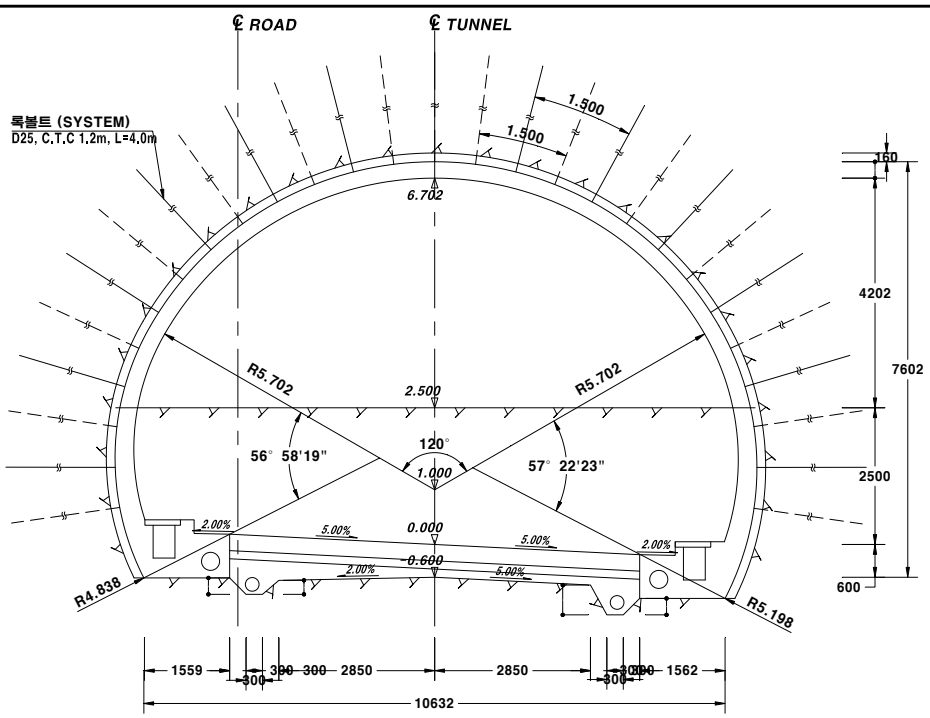
3.3 해석결과 및 분석

3.3.1 무척산터널 NATM 시점부(STA.24k+682)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 NATM 시점부 부산방향 Sta.24+682에 위치하고 있으며, 상부에 1.5m 가량의 토사층과 1.1m의 연암이 위치하고 있으며, 터널은 경암층에 위치해 있다. 터널의 지보형식은 TYPE-Ⅵ이며, 2분할 굴착을 검토하였다.

나. 해석단면 표준지보도



굴 착 방 법	굴진장 (m)	록볼트 간격		록볼트 길이(m)	숏크리트 두께(mm)	강지보공	라이닝 (mm)
		종	횡				
반단면 분할굴착	1.2 / 1.2	1.2	1.5	4.0	160	H-100x100x6x8	300(철근)

다. 해석개요

○ 적용 프로그램 : MIDAS GTS Ver.410
○ 해 석 모 델 : Mohr - Coulomb Model
○ 적용 측압계수 : 0.5, 1.0, 1.5

라. 해석 적용 물성치

1) 지반

지반등급	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (kN/m^2)	점착력 (kN/m^2)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	40,000	0	29	0.310
연암	22	1,000,000	100	38	0.270
경암	25	6,300,000	300	45	0.230

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m^3)	탄성계수(kN/m^2)	압축강도(kN/m^2)
연성숏크리트	23.5	5,000,000	10,000
강성숏크리트	23.5	15,000,000	21,000
록 볼 트	78.5	21,000,000	-

마. 해석절차 및 하중분담율

구 분	시공 단계	하중 분담율		
		굴 착	Soft 숏크리트+R/B	Hard 숏크리트
대구방향 상반 굴착	1	40 %		
	2		70 %	
	3			100%
대구방향 하반 굴착	4	40 %		
	5		70 %	
	6			100%
부산 방향 상반 굴착	7	40 %		
	8		70 %	
	9			100%
부산 방향 하반 굴착	10	40 %		
	11		70 %	
	12			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.535	-0.057	0.030	0.007	0.004	-0.003
2	-1.016	-0.107	0.059	0.002	0.009	-0.004
3	-1.485	-0.165	0.110	0.000	0.031	0.006
4	-1.477	-0.027	-0.008	0.006	0.017	-0.005
5	-1.496	0.165	-0.190	0.005	0.006	-0.014
6	-1.489	0.619	-0.562	0.006	-0.002	-0.021
7	-1.476	0.627	-0.570	-0.488	-0.024	0.020
8	-1.476	0.633	-0.579	-0.940	-0.048	0.057
9	-1.472	0.632	-0.602	-1.372	-0.082	0.099
10	-1.467	0.644	-0.583	-1.360	0.030	-0.033
11	-1.469	0.652	-0.568	-1.374	0.180	-0.203
12	-1.471	0.659	-0.559	-1.401	0.604	-0.705
최대값	**-1.496**	**0.659**	**-0.602**	**-1.401**	**0.604**	**-0.705**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.151	3.319
록볼트 축력(kN)	21.08	25.50
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.400 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 대구방향에서 -1.496㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.705㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 3.319MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 25.50N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.454	0.077	-0.112	0.005	-0.023	-0.021
2	-0.876	0.126	-0.187	-0.001	-0.038	-0.035
3	-1.560	0.255	-0.318	-0.005	-0.064	-0.057
4	-1.507	0.491	-0.543	-0.005	-0.113	-0.091
5	-1.484	0.677	-0.734	-0.010	-0.153	-0.118
6	-1.395	1.202	-1.221	-0.020	-0.229	-0.170
7	-1.388	1.223	-1.197	-0.449	-0.123	-0.250
8	-1.394	1.237	-1.182	-0.855	-0.054	-0.301
9	-1.401	1.256	-1.153	-1.506	0.073	-0.417
10	-1.408	1.282	-1.092	-1.449	0.299	-0.641
11	-1.421	1.302	-1.044	-1.424	0.478	-0.820
12	-1.446	1.337	-0.956	-1.368	1.011	-1.370
최대값	**-1.560**	**1.337**	**-1.221**	**-1.506**	**1.011**	**-1.370**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.254	3.034
록볼트 축력(kN)	19.38	23.22
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 대구방향에서 -1.560㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 1.370㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 3.254MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 23.22N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

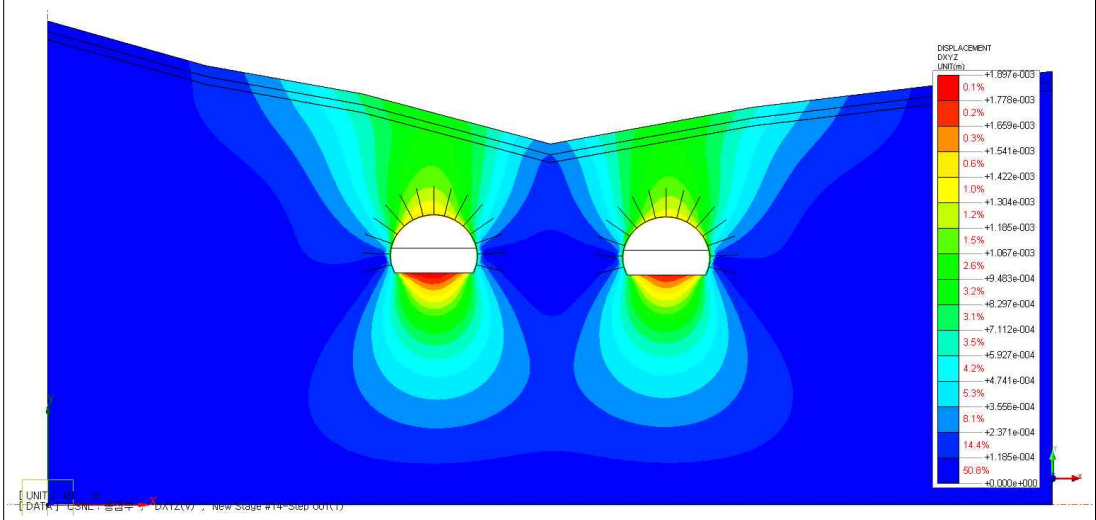
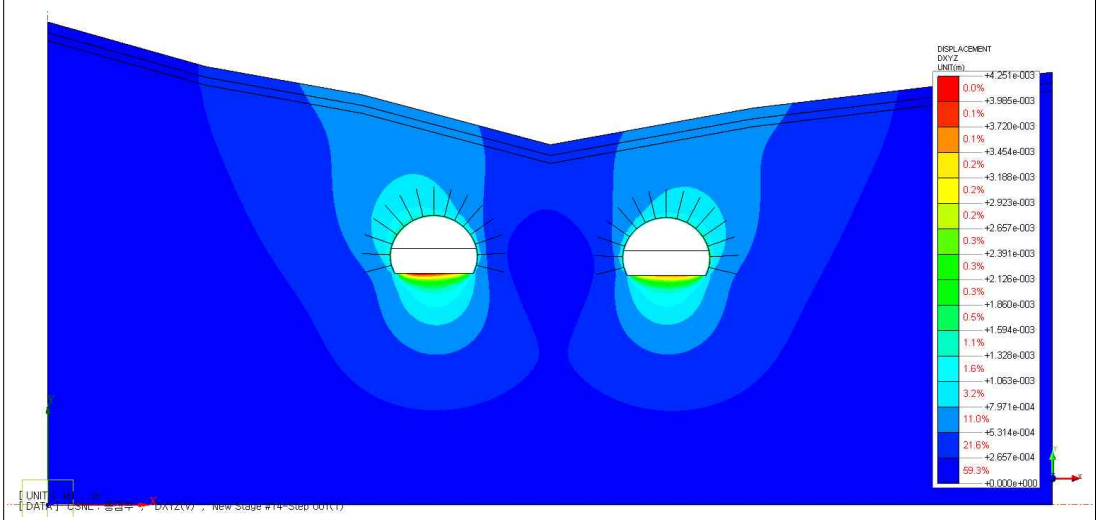
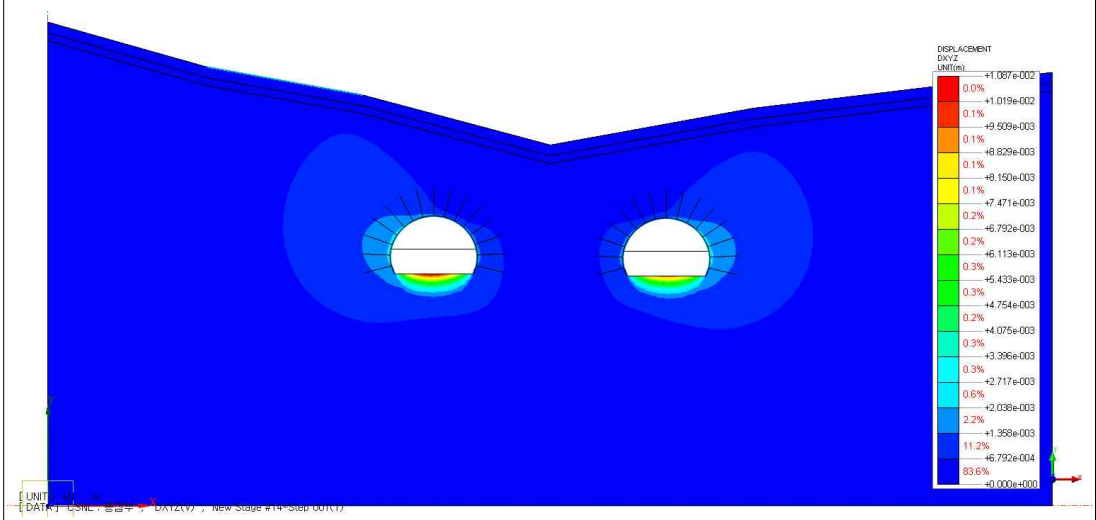
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.374	0.212	-0.254	0.003	-0.051	-0.039
2	-0.743	0.359	-0.433	-0.004	-0.085	-0.067
3	-1.674	0.770	-0.842	-0.014	-0.190	-0.140
4	-1.591	1.084	-1.150	-0.018	-0.265	-0.191
5	-1.507	1.376	-1.448	-0.031	-0.352	-0.249
6	-1.342	1.942	-2.066	-0.054	-0.497	-0.346
7	-1.342	1.975	-2.008	-0.421	-0.267	-0.547
8	-1.353	1.999	-1.970	-0.786	-0.107	-0.685
9	-1.381	2.050	-1.851	-1.670	0.274	-1.039
10	-1.399	2.086	-1.760	-1.586	0.578	-1.335
11	-1.428	2.124	-1.659	-1.505	0.863	-1.606
12	-1.480	2.187	-1.489	-1.368	1.501	-2.216
최대값	**-1.480**	**2.187**	**-2.066**	**-1.670**	**1.501**	**-2.216**

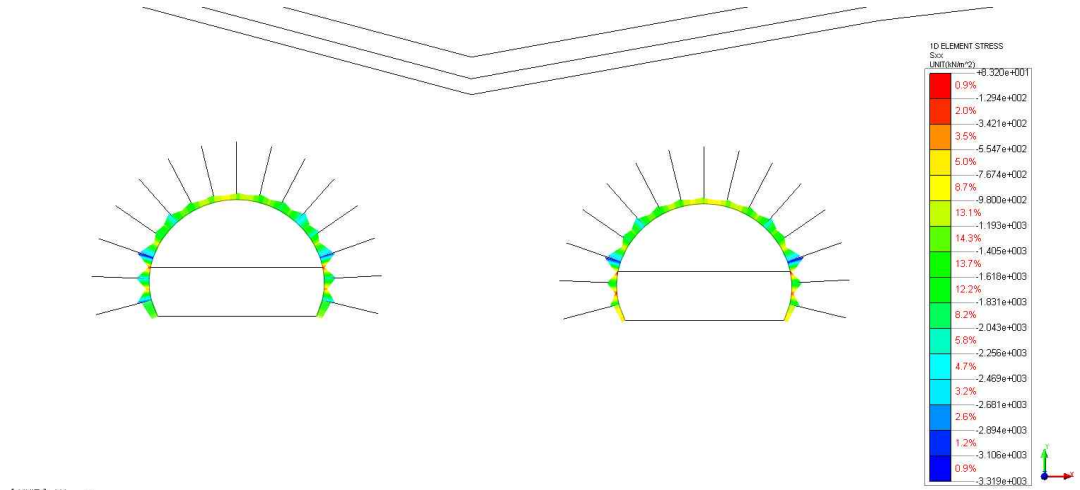
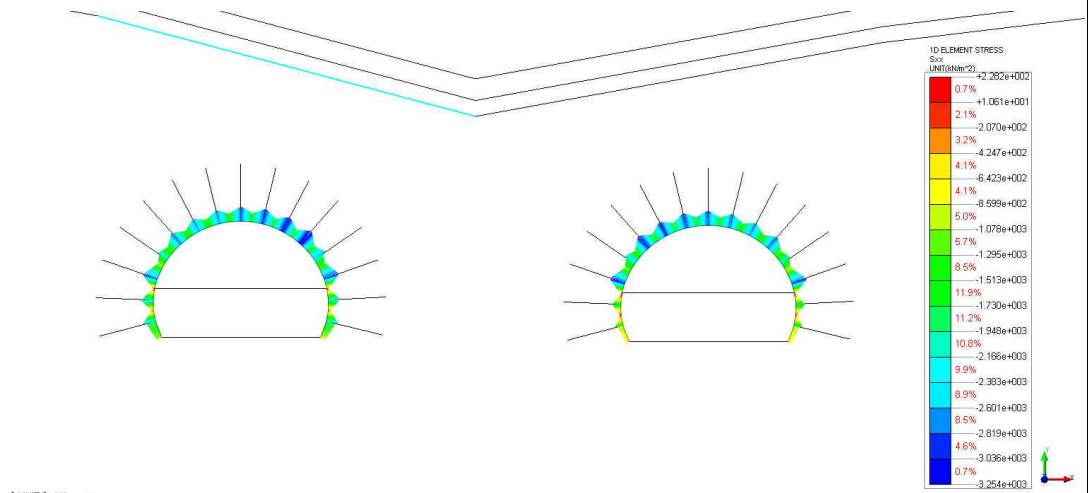
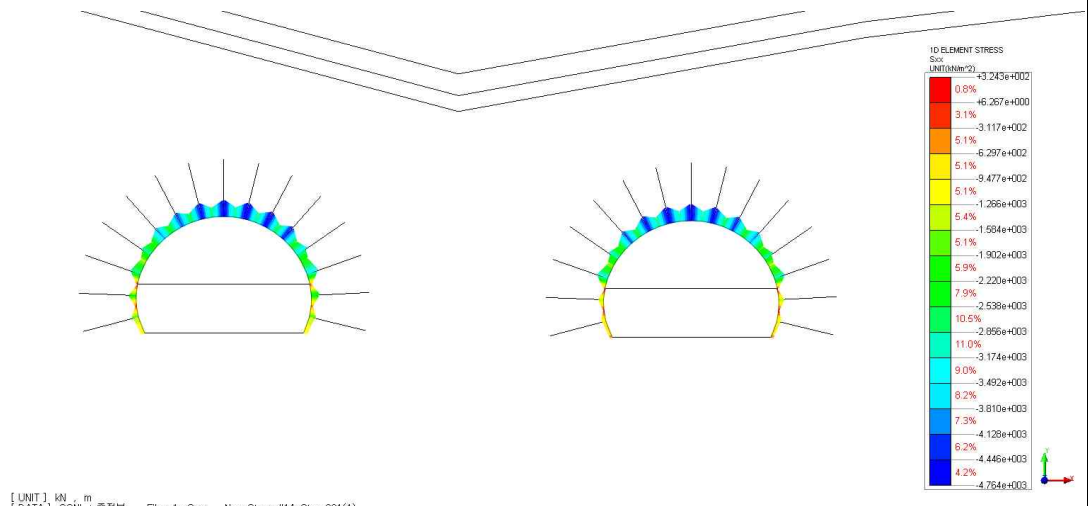
② 지보재 응력

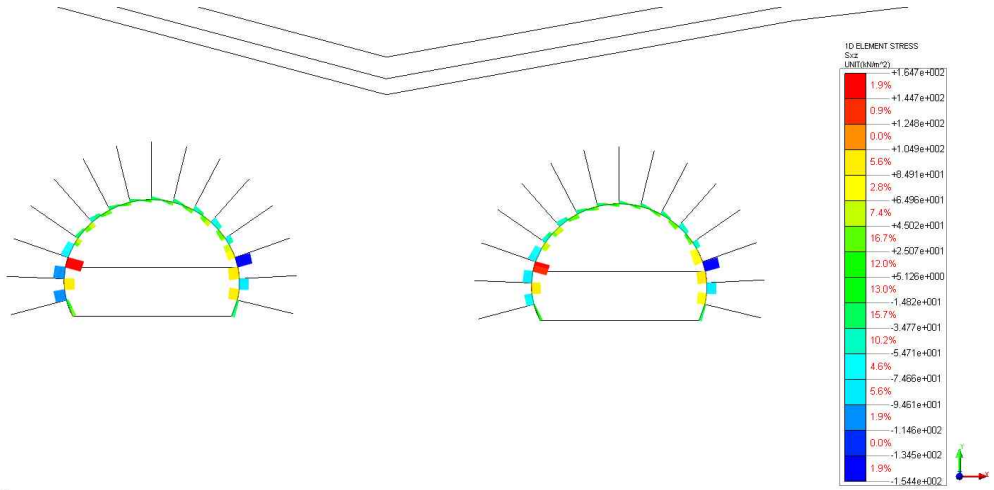
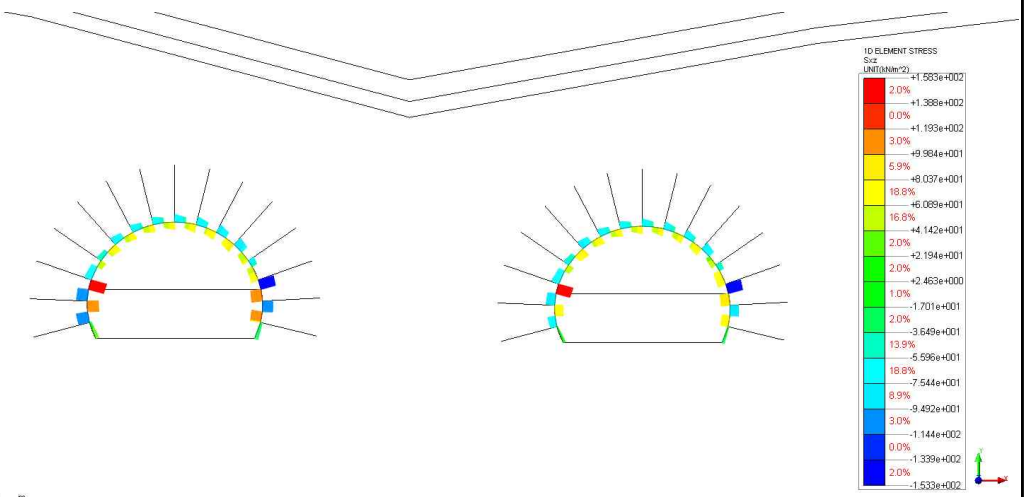
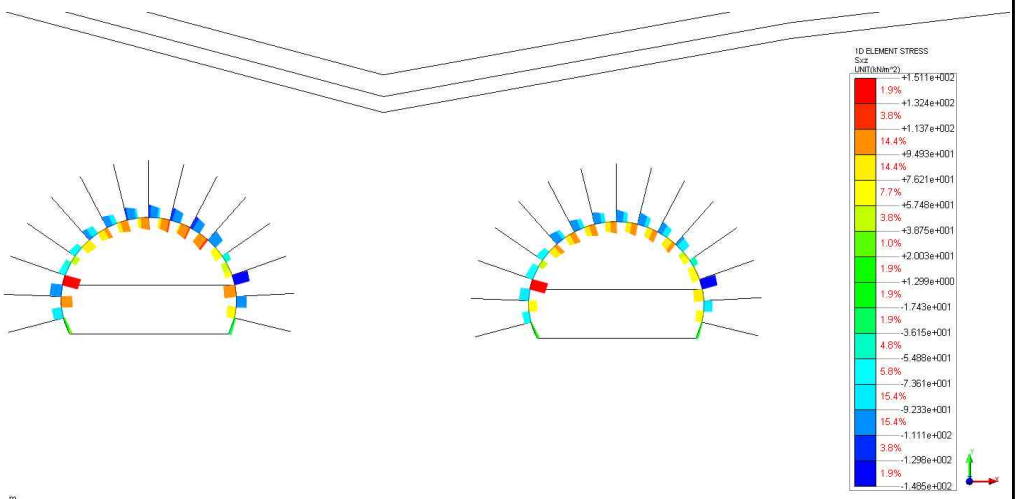
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	4.763	4.764
록볼트 축력(kN)	26.52	24.56
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

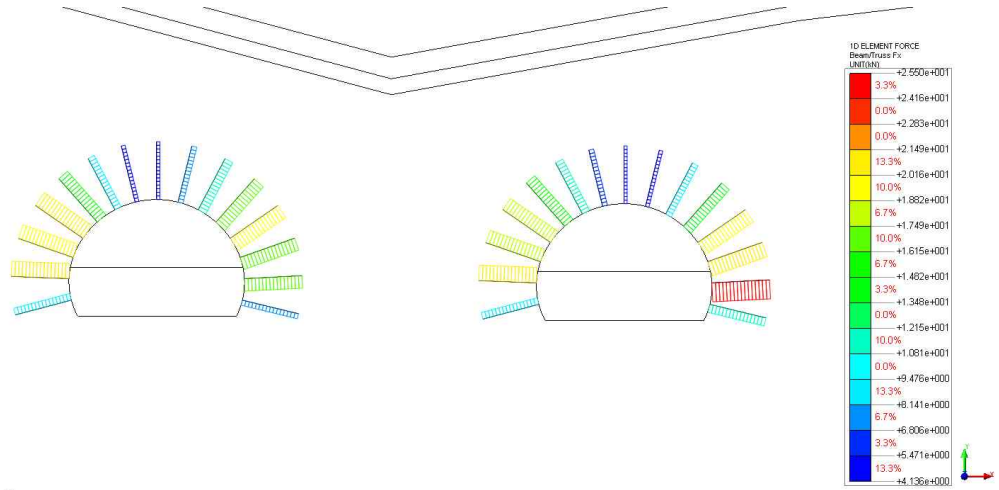
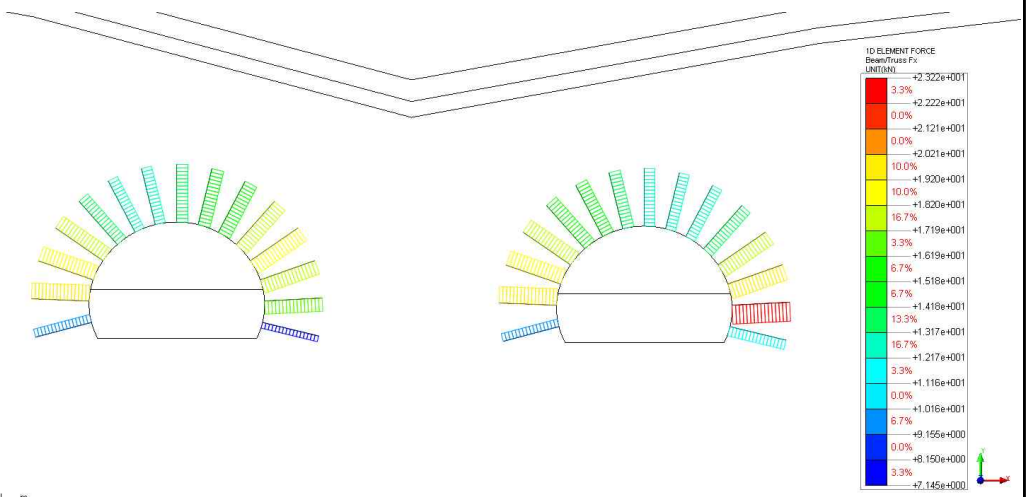
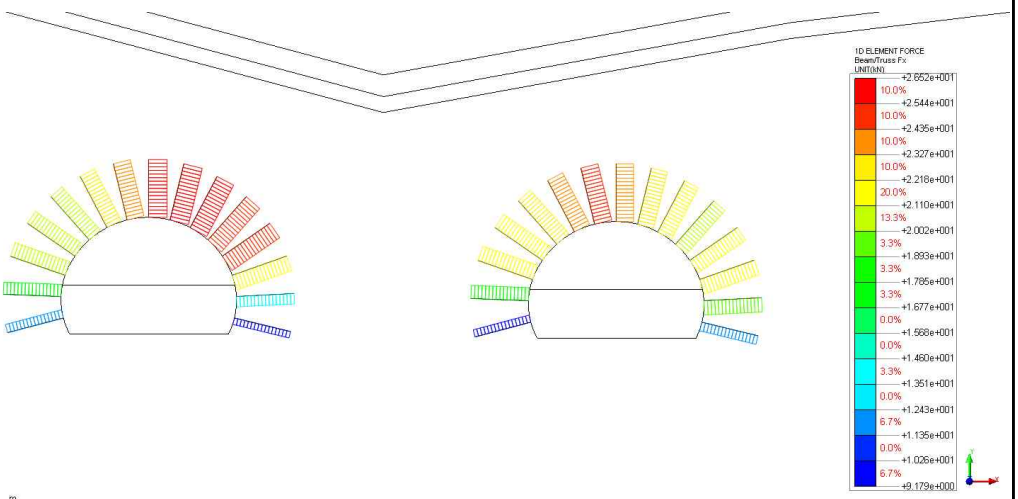
③ 해석결과

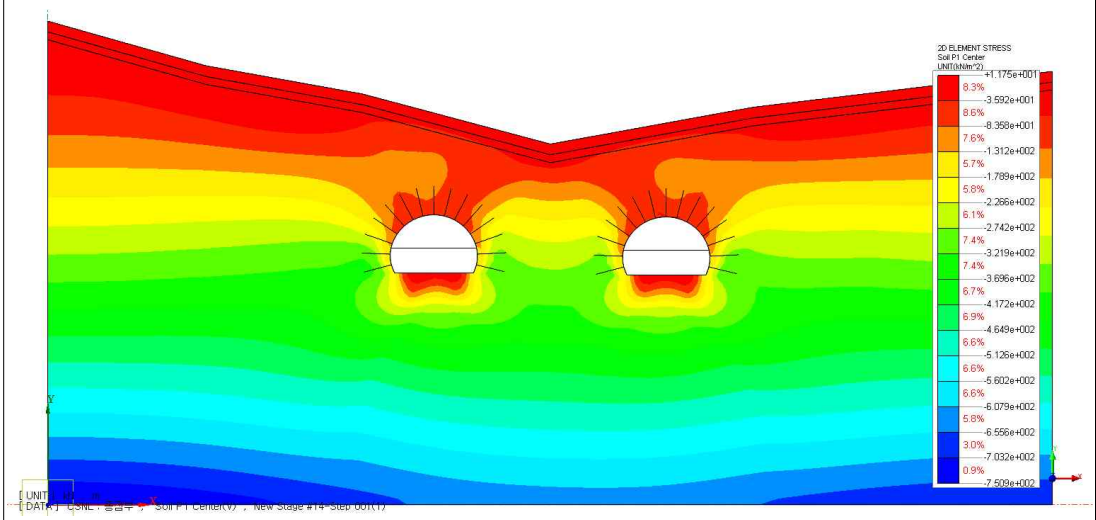
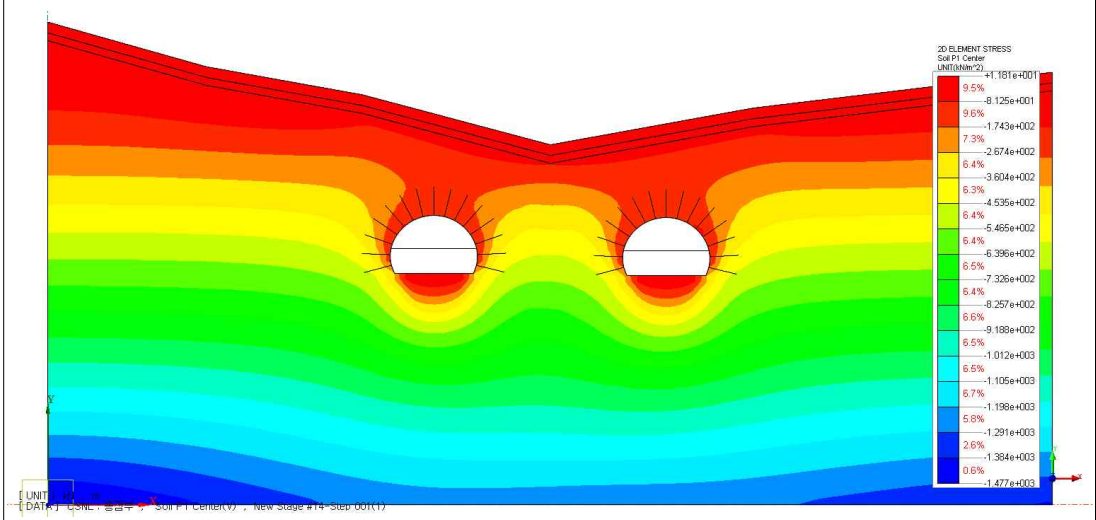
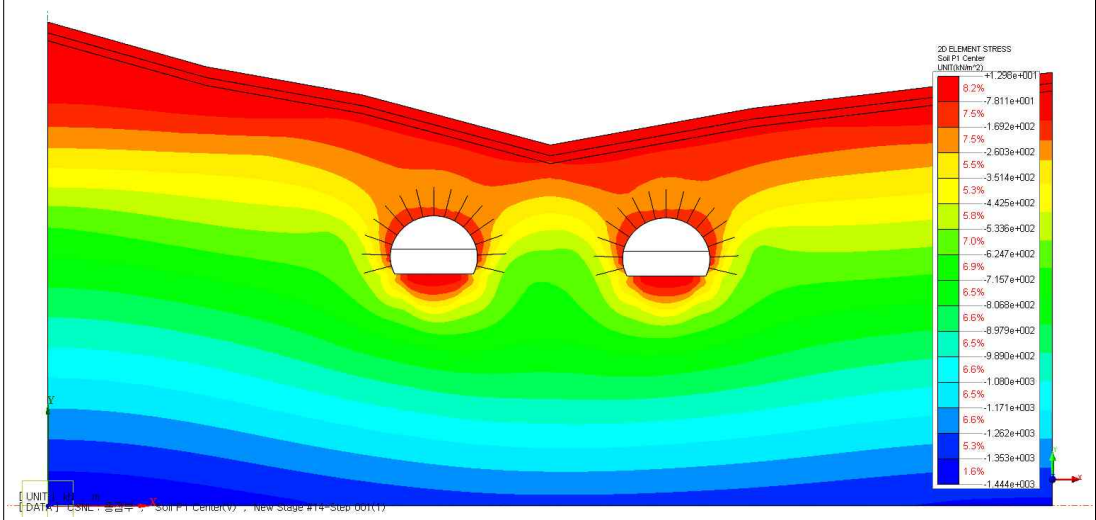
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -1.670㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 2.216㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.764MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 26.52N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

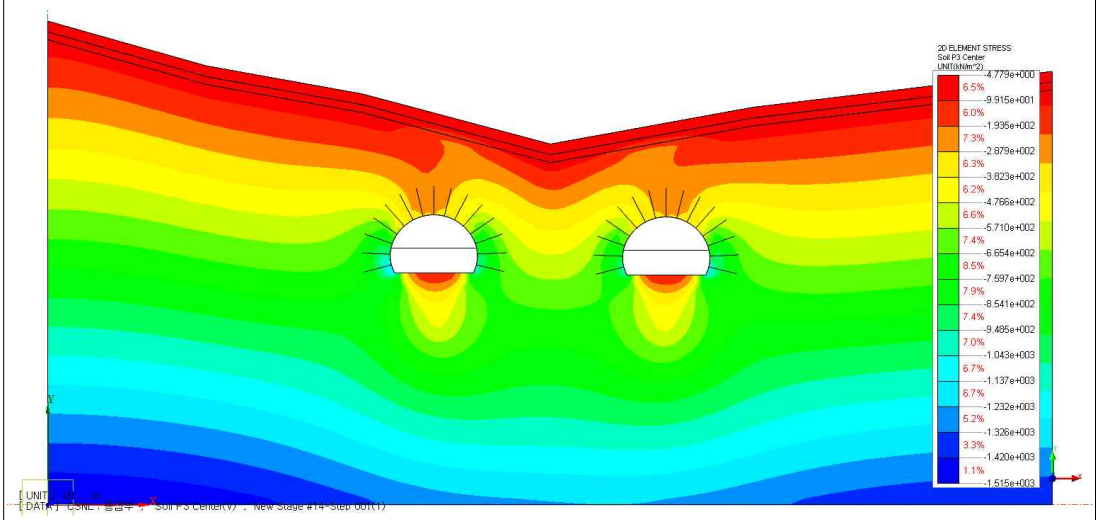
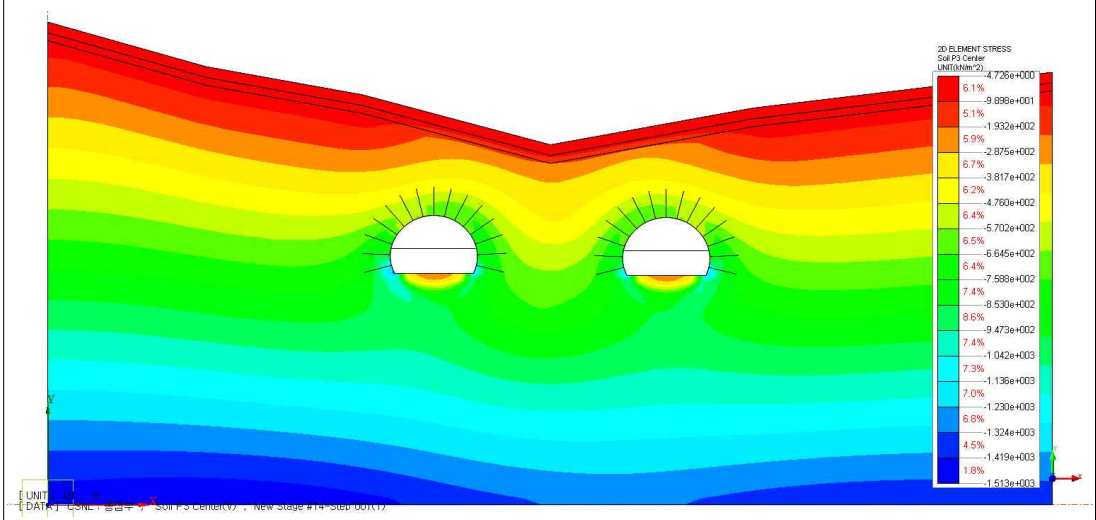
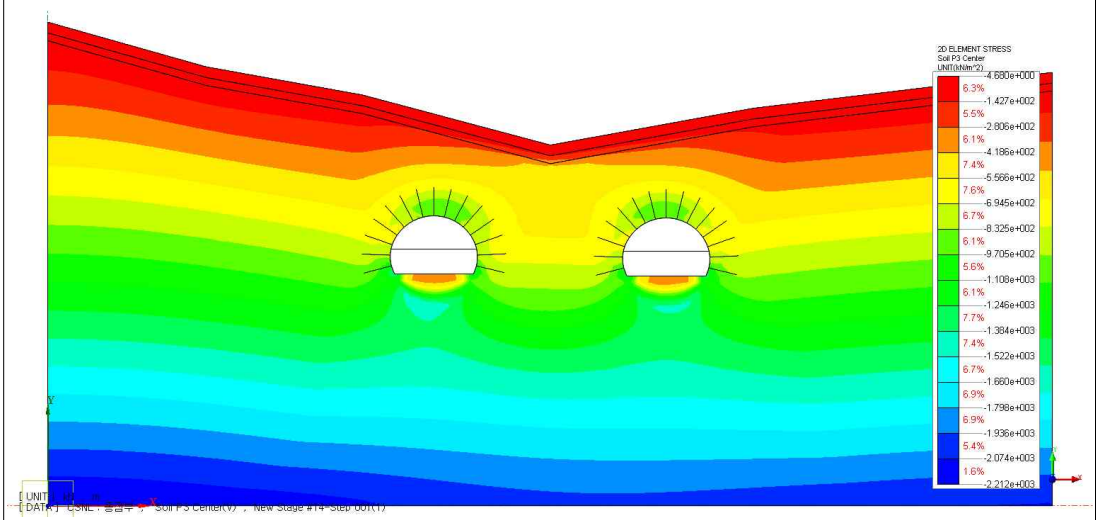
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 휨압축응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 전단응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

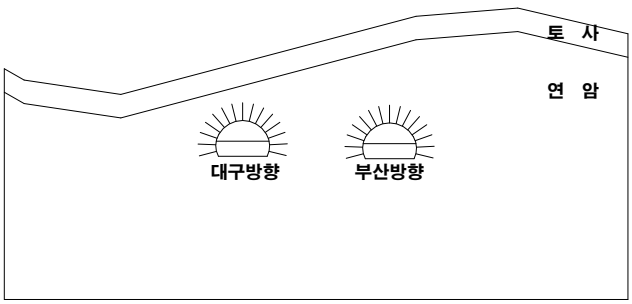
구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최대 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

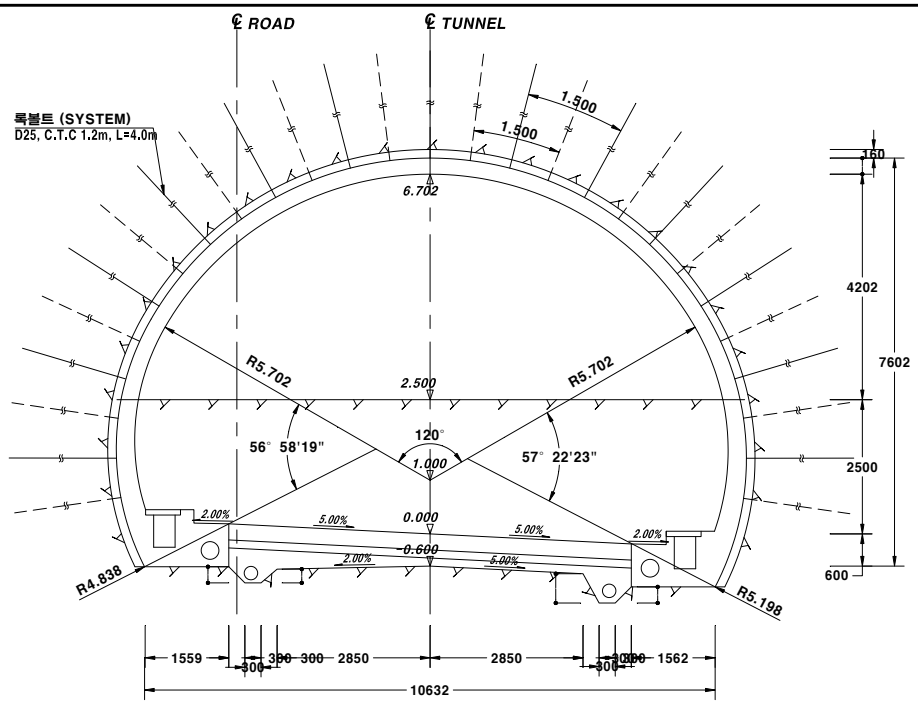
구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.3.2 무척산터널 NATM 종점부(STA.26k+622)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 NATM종점부 부산방향 Sta.26+622에 위치하고 있으며, 상부에 5.3m 가량의 토사층이 위치하고 있으며, 터널은 연암층에 위치해 있다. 터널의 지보형식은 TYPE-Ⅵ이며, 2분할 굴착을 검토하였다.

나. 해석단면 표준지보도



굴 착 방 법	굴진장 (m)	록볼트 간격		록볼트 길이(m)	숏크리트 두께(mm)	강지보공	라이닝 (mm)
		종	횡				
반단면 분할굴착	1.2 / 1.2	1.2	1.5	4.0	160	H-100x100x6x8	300(철근)

다. 해석개요

○ 적용 프로그램 : MIDAS GTS Ver.410
○ 해 석 모 델 : Mohr - Coulomb Model
○ 적용 측압계수 : 0.5, 1.0, 1.5

라. 해석 적용 물성치

1) 지반

지반등급	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (kN/m^2)	점착력 (kN/m^2)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	40,000	0	30	0.310
연암	22	800,000	100	38	0.280
경암	25	3,000,000	300	43	0.250

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m^3)	탄성계수(kN/m^2)	압축강도(kN/m^2)
연성숏크리트	23.5	5,000,000	10,000
강성숏크리트	23.5	15,000,000	21,000
록 볼 트	78.5	21,000,000	-

마. 해석절차 및 하중분담율

구 분	시공 단계	하중 분담율		
		굴 착	Soft 숏크리트+R/B	Hard 숏크리트
대구방향 상반 굴착	1	40 %		
	2		70 %	
	3			100%
대구방향 하반 굴착	4	40 %		
	5		70 %	
	6			100%
부산방향 상반 굴착	7	40 %		
	8		70 %	
	9			100%
부산방향 하반 굴착	10	40 %		
	11		70 %	
	12			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.560	-0.043	0.065	0.002	0.007	-0.004
2	-1.073	-0.080	0.123	-0.007	0.016	-0.005
3	-1.603	-0.156	0.205	-0.013	0.041	0.006
4	-1.598	-0.076	0.068	-0.010	0.027	-0.006
5	-1.621	0.085	-0.115	-0.012	0.016	-0.015
6	-1.615	0.382	-0.558	-0.014	0.006	-0.023
7	-1.608	0.376	-0.607	-0.813	-0.096	0.090
8	-1.614	0.366	-0.655	-1.490	-0.191	0.190
9	-1.602	0.309	-0.805	-2.275	-0.419	0.365
10	-1.600	0.319	-0.793	-2.297	-0.262	0.171
11	-1.604	0.322	-0.791	-2.337	0.059	-0.206
12	-1.605	0.325	-0.790	-2.344	0.534	-0.806
최대값	**-1.621**	**0.382**	**-0.805**	**-2.344**	**-0.419**	**-0.806**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	2.972	4.632
록볼트 축력(kN)	19.77	36.32
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.400 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.344㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.806㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.632MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 36.32N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.479	0.081	-0.059	-0.002	-0.018	-0.021
2	-0.931	0.134	-0.092	-0.013	-0.028	-0.035
3	-1.554	0.212	-0.192	-0.024	-0.048	-0.054
4	-1.500	0.386	-0.440	-0.027	-0.096	-0.088
5	-1.479	0.549	-0.635	-0.034	-0.134	-0.114
6	-1.392	0.952	-1.170	-0.047	-0.208	-0.163
7	-1.393	0.961	-1.188	-0.783	-0.183	-0.170
8	-1.405	0.966	-1.207	-1.400	-0.173	-0.170
9	-1.414	0.967	-1.234	-2.110	-0.142	-0.227
10	-1.427	0.989	-1.187	-2.098	0.062	-0.474
11	-1.443	1.006	-1.150	-2.107	0.330	-0.728
12	-1.468	1.033	-1.089	-2.062	0.939	-1.469
최대값	**-1.554**	**1.033**	**-1.234**	**-2.110**	**0.939**	**-1.469**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.306	4.555
록볼트 축력(kN)	19.74	30.42
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.110㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 1.469㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.555MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 30.42N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

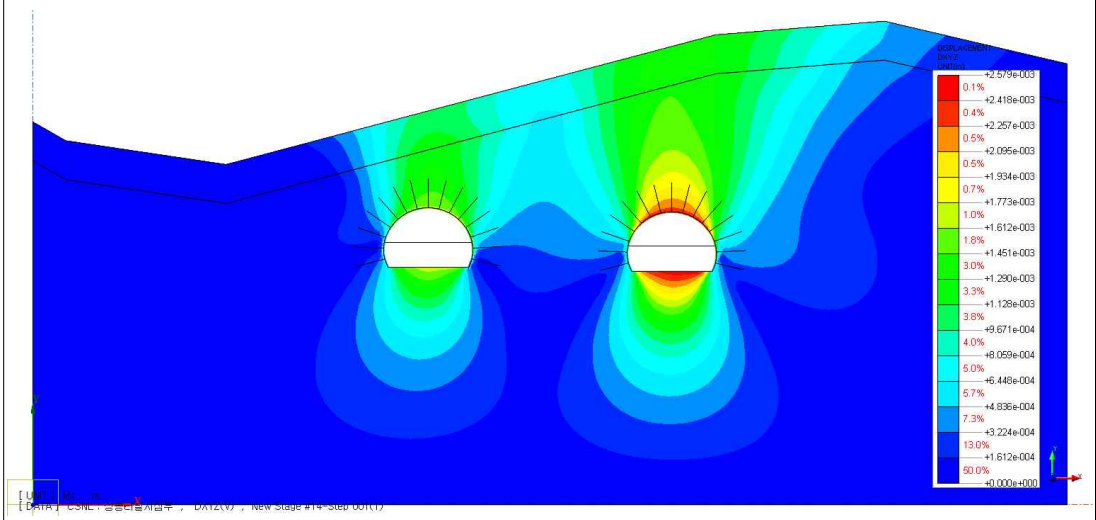
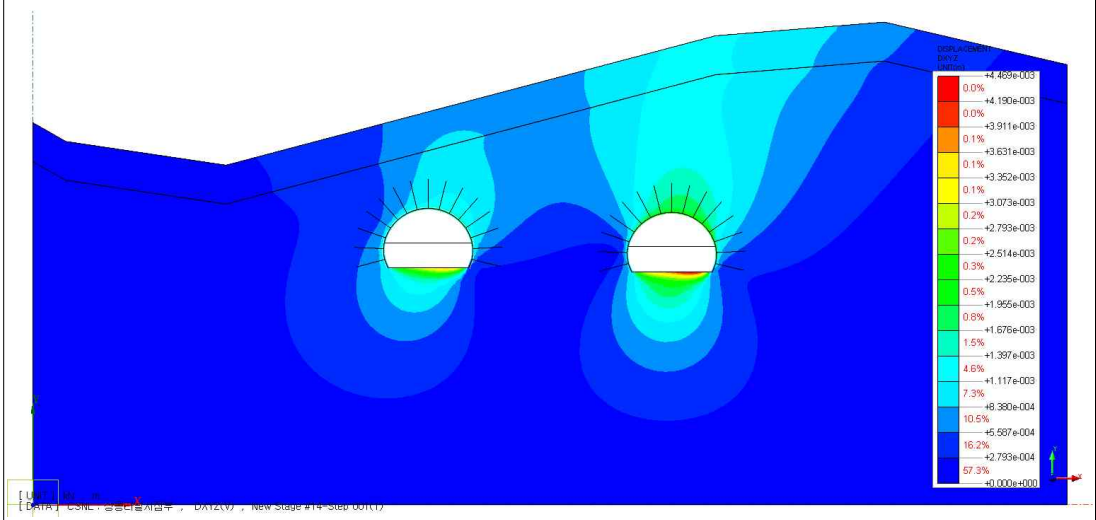
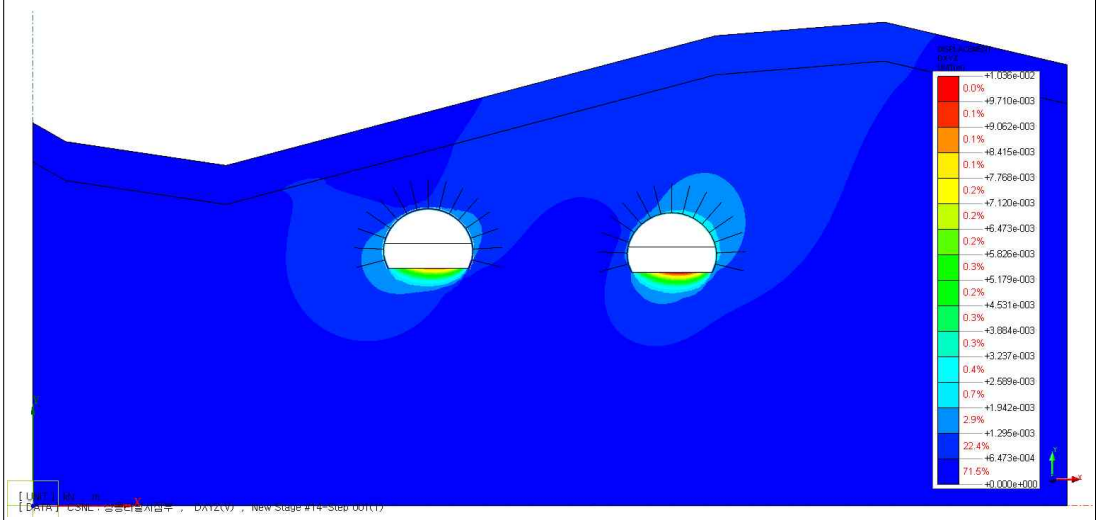
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.397	0.205	-0.182	-0.005	-0.044	-0.038
2	-0.799	0.348	-0.307	-0.019	-0.073	-0.064
3	-1.622	0.644	-0.679	-0.038	-0.162	-0.129
4	-1.533	0.886	-1.014	-0.045	-0.236	-0.180
5	-1.450	1.145	-1.326	-0.060	-0.318	-0.235
6	-1.278	1.661	-1.906	-0.087	-0.465	-0.331
7	-1.286	1.684	-1.895	-0.762	-0.317	-0.456
8	-1.306	1.697	-1.889	-1.333	-0.216	-0.542
9	-1.338	1.724	-1.840	-2.274	0.015	-0.828
10	-1.363	1.759	-1.761	-2.234	0.297	-1.153
11	-1.397	1.794	-1.678	-2.195	0.603	-1.451
12	-1.460	1.857	-1.524	-2.075	1.347	-2.240
최대값	**-1.622**	**1.857**	**-1.906**	**-2.274**	**1.347**	**-2.240**

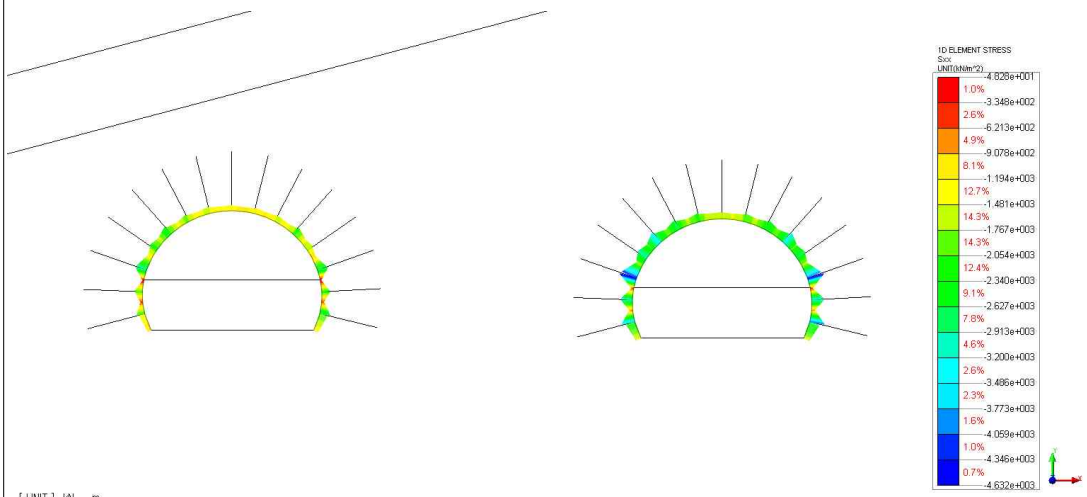
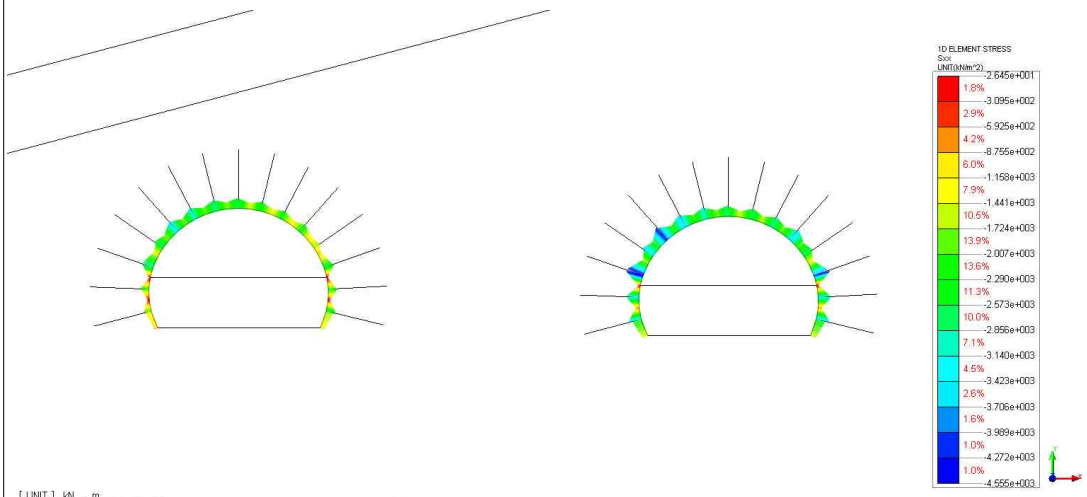
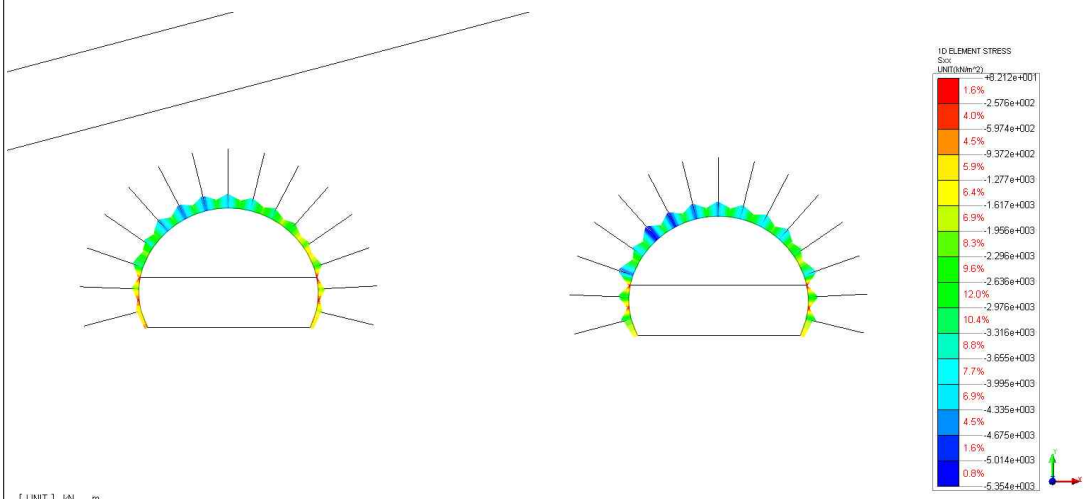
② 지보재 응력

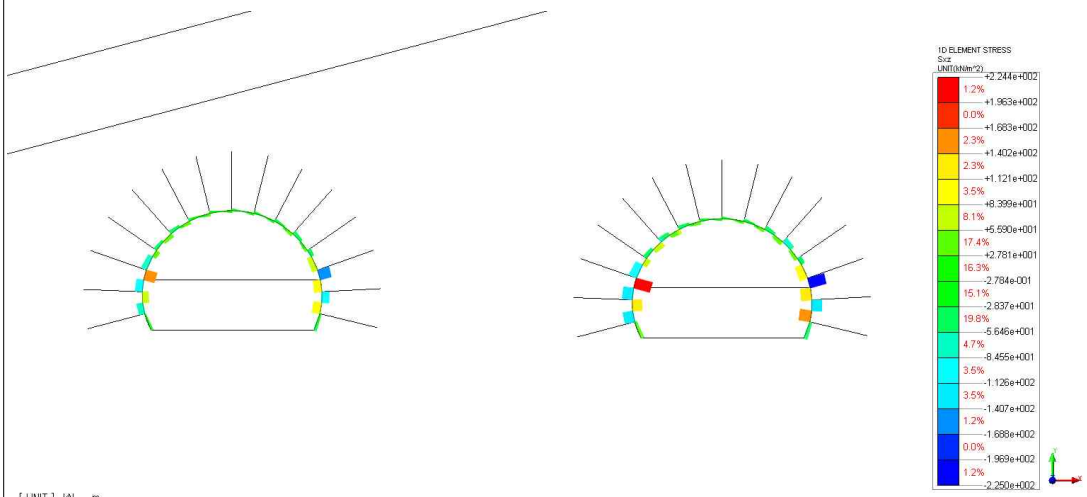
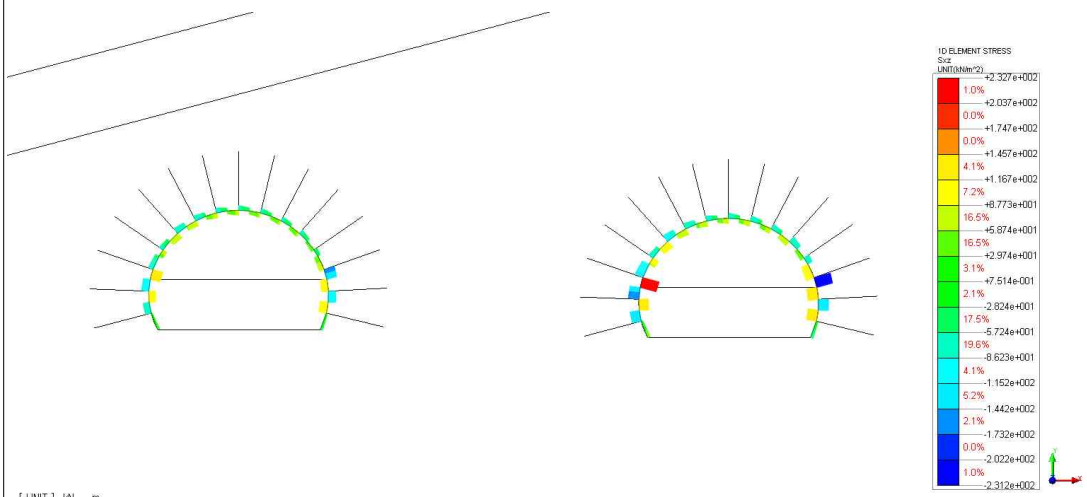
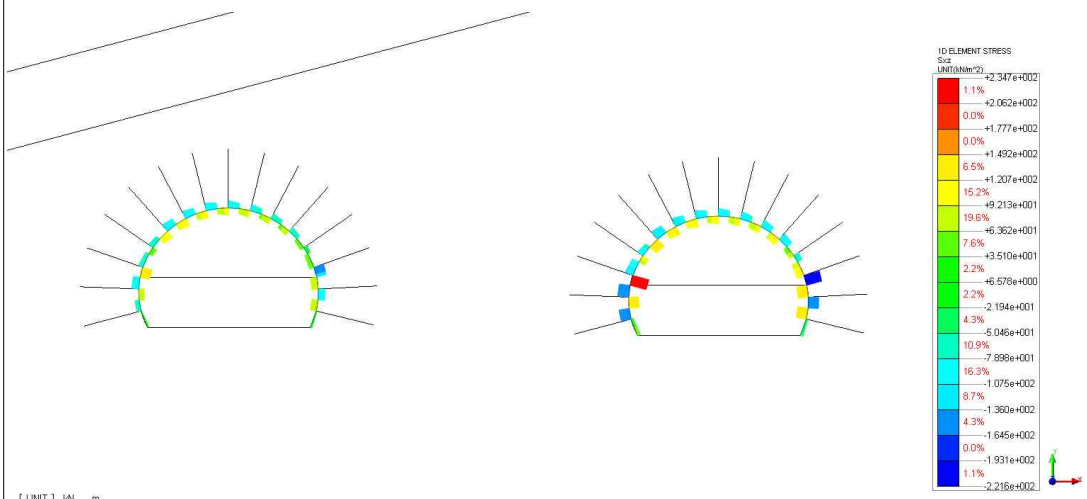
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	4.662	5.354
록볼트 축력(kN)	25.06	31.83
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

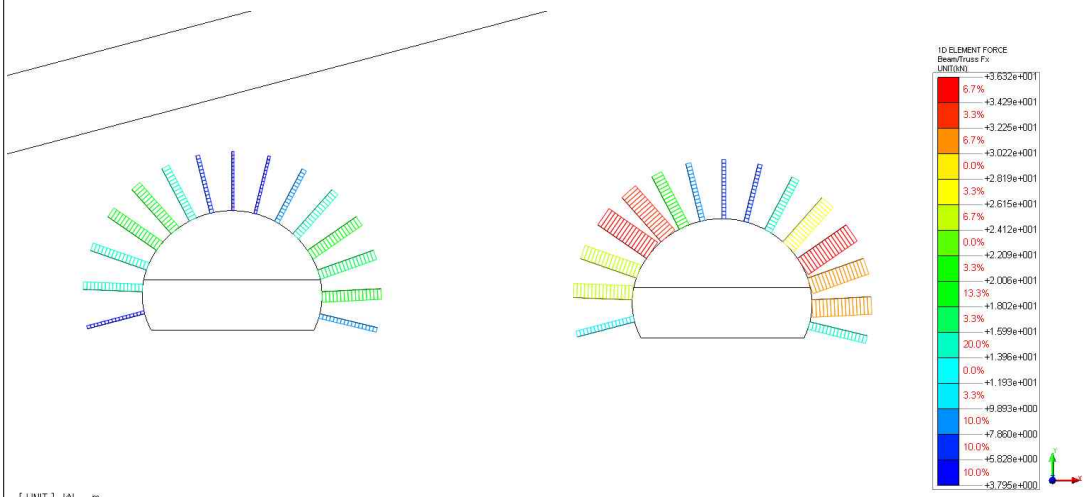
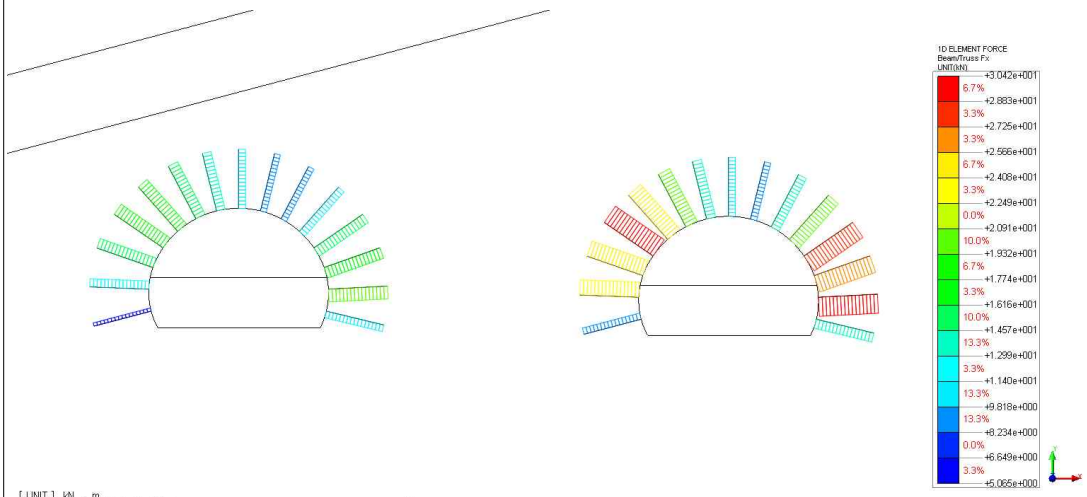
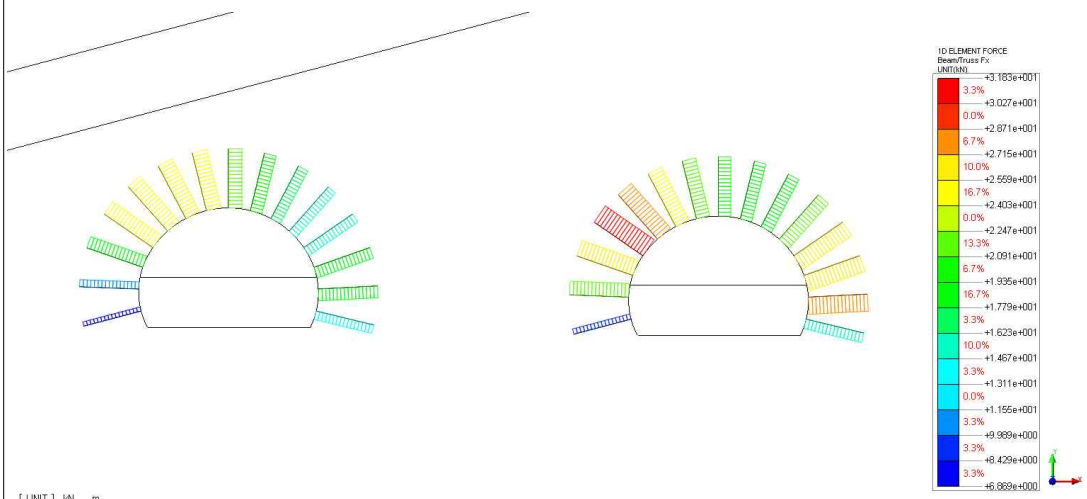
③ 해석결과

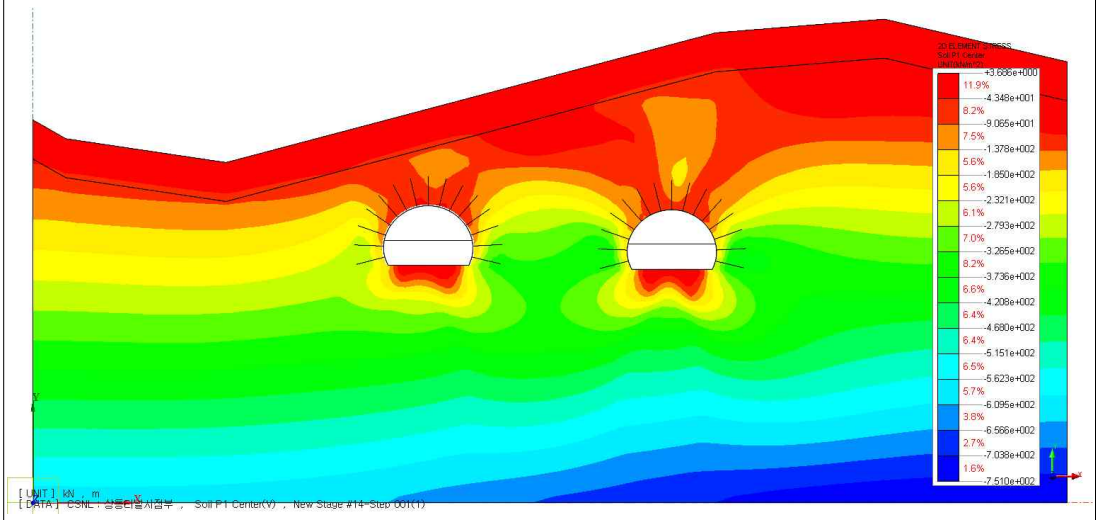
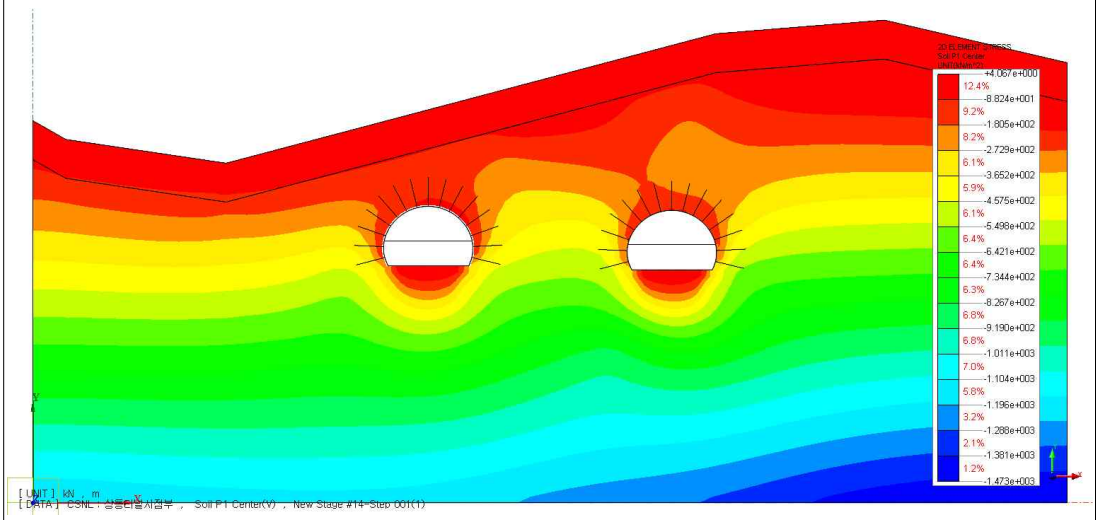
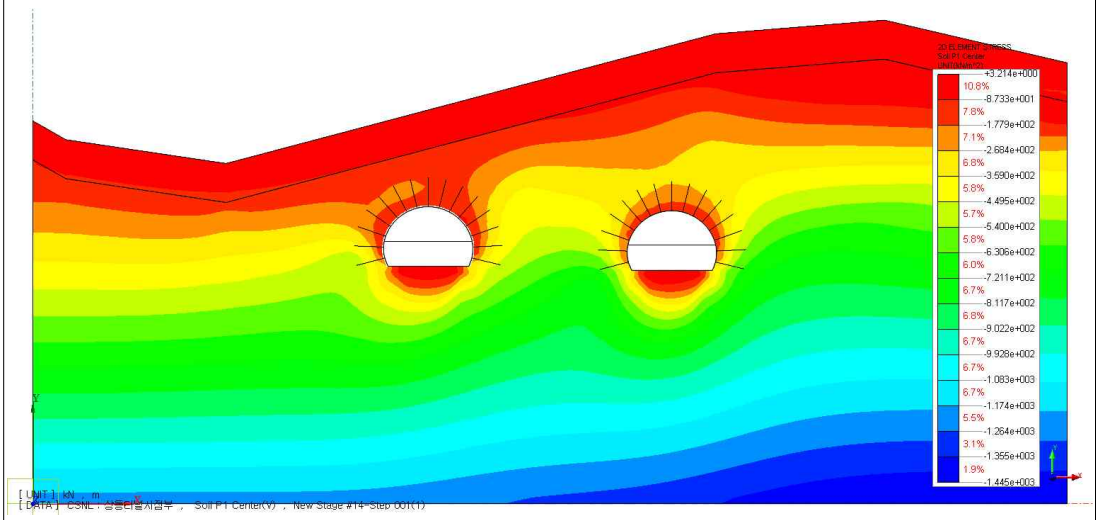
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.274㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 2.240㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 5.354MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 31.83N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

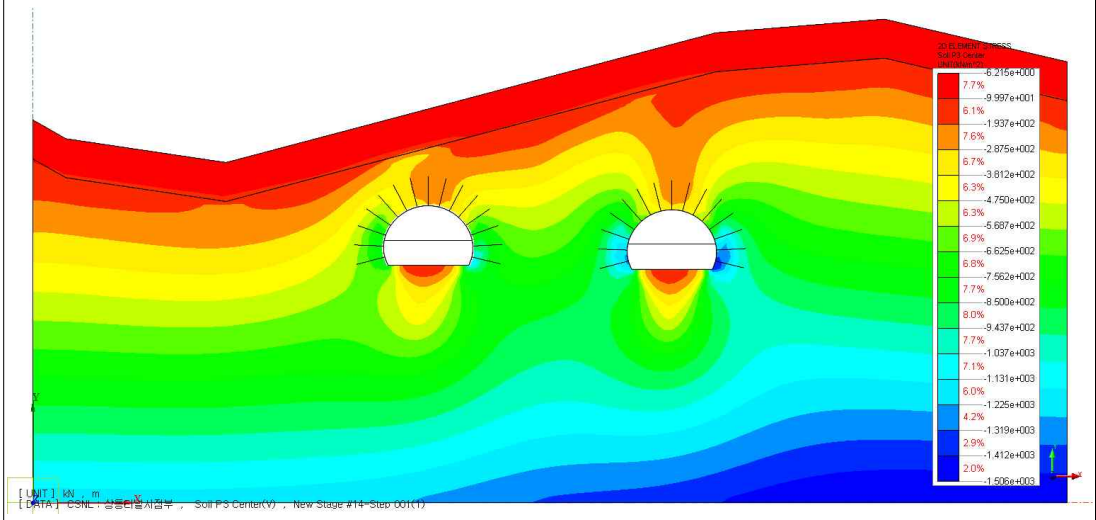
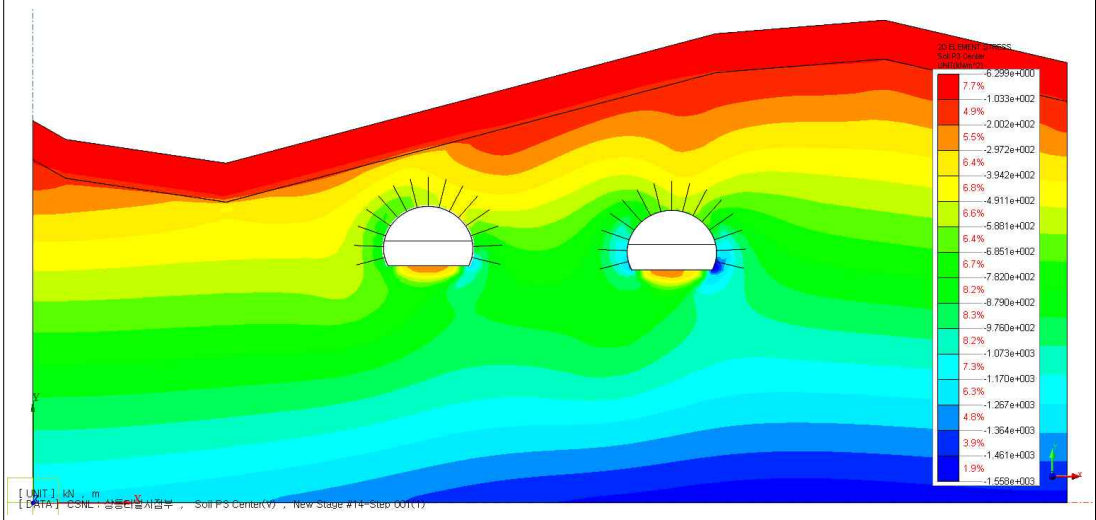
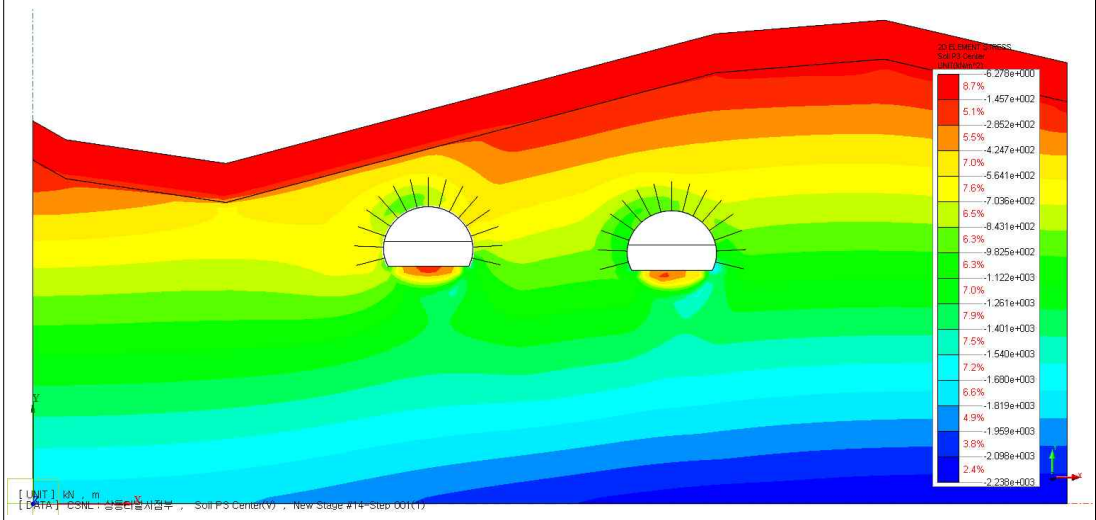
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 휨압축응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 전단응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최대 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.4 결론

3.4.1 무척산터널 시점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.496	-1.560	-1.670
최대 수평변위(㎜)	0.705	1.370	2.216
숏크리트 압축응력(MPa)	3.319<8.400 ∴O.K	3.254<8.400 ∴O.K	4.764<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	25.50<88.70 ∴O.K	23.22<88.70 ∴O.K	26.52<88.70 ∴O.K

- 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

3.4.2 무척산터널 종점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-2.344	-2.110	-2.274
최대 수평변위(㎜)	0.806	1.469	2.240
숏크리트 압축응력(MPa)	4.632<8.400 ∴O.K	4.555<8.400 ∴O.K	5.354<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	36.32<88.70 ∴O.K	30.42<88.70 ∴O.K	31.83<88.70 ∴O.K

- 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

4.1 종합평가 결과

4.2 시설물의 안전등급

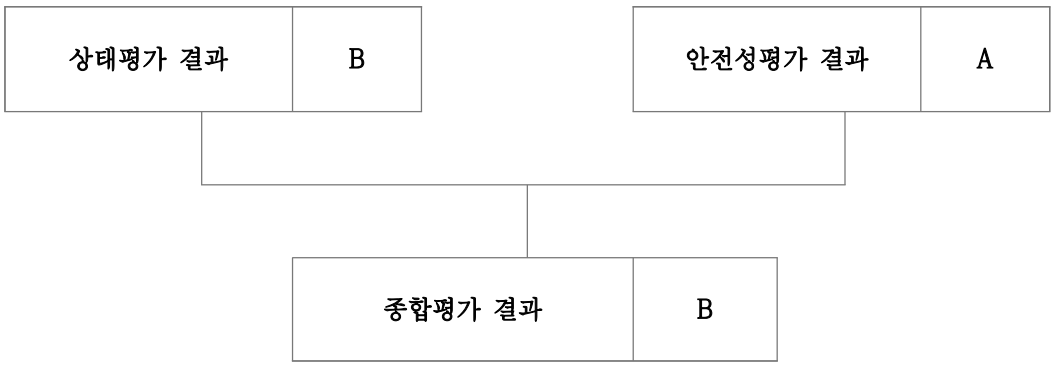
제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

4.1 종합평가 결과

4.1.1 검토 개요

▪ 시설물 종합평가 등급은 시설물 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 종합평가 등급으로 결정하므로 대상터널의 종합평가 결과는 「B」로 결정된다.

○ 종합평가 결과 = MIN (상태평가 결과, 안전성평가 결과)



【그림 4.1.1】종합평가 결과 산정

4.1.2 기 점검과의 비교

준공 후 최초 진단으로써 기 점검보고서 등의 자료부족으로 기존 등급과의 비교 및 분석이 불가능한 상태로 향후 정밀안전진단시 금회 진단 결과를 기초로 지속적인 유지관리를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

【표 4.1.1】종합평가 결과 변화 비교

시행년도	분류	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
금회	정밀안전진단	B (0.216)	A (1.569)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정

4.2 시설물의 안전등급

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

【표 4.2.1】 시설물의 안전등급

구분	안전등급	안전등급의 의미
무척산터널 (대구)	「B등급」 양호	· 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 · 세부지침의 규정에 의해 산출된 종합평가 등급을 상향하거나 하향시킬 만한 변수가 없음을 의미함.

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안

5.1 개 요

5.2 보수・보강 방안

5.3 보수・보강 개략공사비

5.4 유지관리방안

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안

5.1 개 요

무척산터널(대구)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,042m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.428% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span)+굴착(NATM, 228Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

본 터널은 준공 이후 시설물 유지보수공사 및 하자보수공사 등을 통해 공용 중 발생된 손상에 대한 지속적인 유지관리가 시행되고 있는 시설물이다.

외관조사 결과, 전반적으로 양호한 상태이나 일부 보수를 요하는 손상인 라이닝 구간에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 공동구에 균열, 덮개 파손, 집수정에 토사퇴적, 포장부에 스폴링, 스캘링, 균열 등의 손상이 조사되었다. 터널의 구조안전성 평가결과, 숏크리트의 최대압축응력 및 록볼트의 최대축력은 모두 허용응력(숏크리트 8.4MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

본 장에서는 정밀안전진단 결과에 의한 결함 및 손상에 대한 원인을 검토하고 그 결과를 토대로 터널의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 보수·보강방법을 제안하고자 한다. 이러한 보수·보강방법의 기본방향은 장기적으로 설계 내하력을 유지시키고 내구성 저하를 방지하는데 그 목적이 있다. 무척산터널(대구방향)의 보수・보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다. 【표 5.1.1】은 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 일반적인 검토사항을 언급하였다.

【표 5.1.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

5.2 보수·보강 방안

5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정

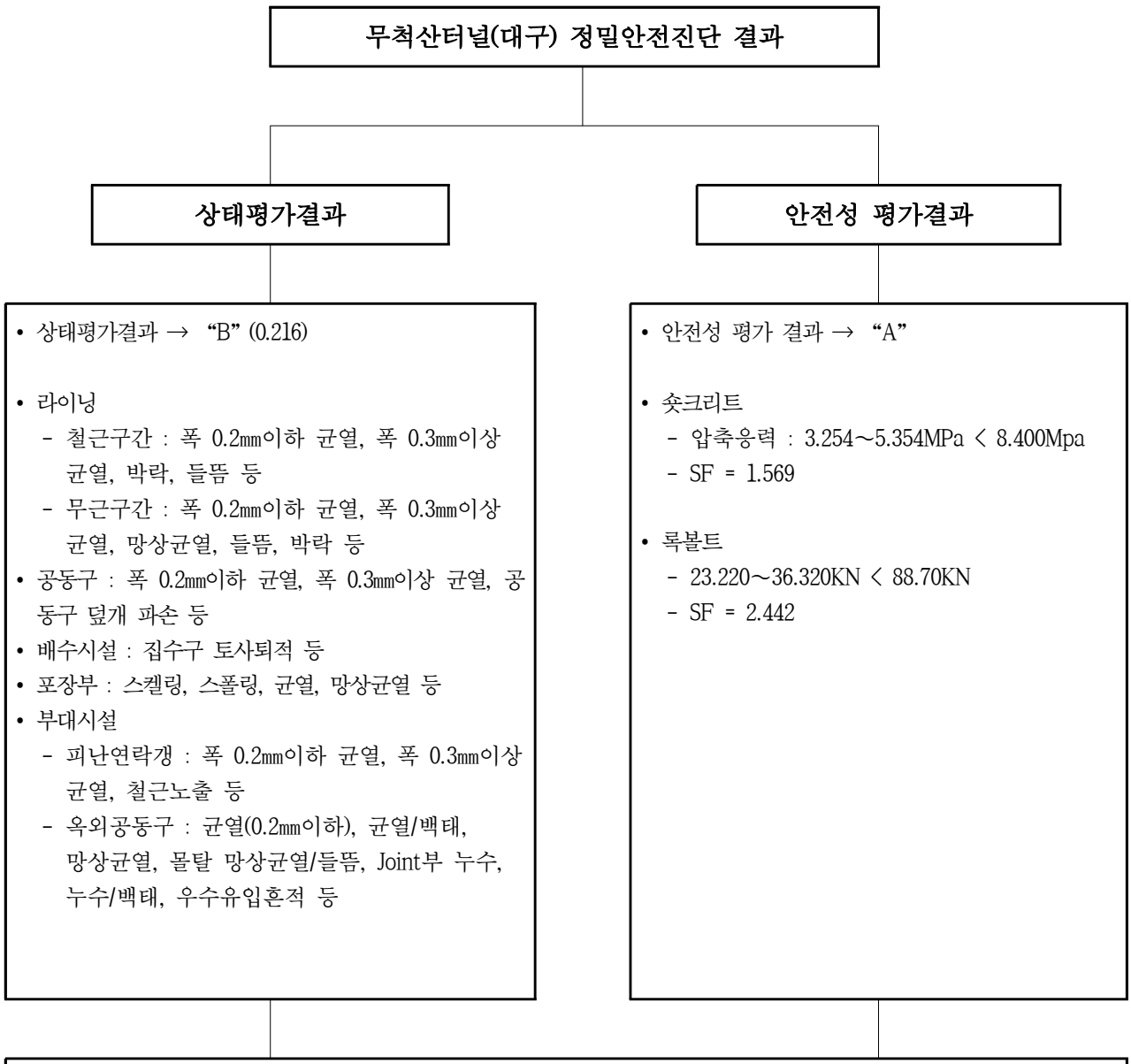
무척산터널(대구)에 대한 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공 시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하여 있는 것으로 조사되었다.

금회 진단은 준공 후 최초 진단으로서 하자대상(철근 콘크리트 및 철골 구조부 손상) 손상을 제외한 기타 손상에 대해서만 보수 우선순위를 부여하였다.

【표 5.2.1】보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	• 구조물의 거동에 지장을 초래하여 구조적인 문제를 유발시킬 수 있는 손상 • 시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제12조(중대한 결함)의 “대통령령이 정하는 중대한 결함”에 포함되는 손상 • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나 철근부식 가능성이 있는 손상 • 실용상 지장이 없는 성능까지 회복하여야 할 손상
중장기	2순위	• 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성을 위해 보수가 필요한 상태 • 현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책
	3순위	• 손상이 경미하여 시급성을 요하지 않으나 장기적으로 보수가 필요한 경우
지속관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.2mm이하의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

※ 금회 철근콘크리트 및 철골구조부재의 손상은 하자보수대상임.



보수 · 보강 방향		
1 순위	2 순위	3 순위
-	-	• 집수구 토사퇴적 • 포장부(LMC) 균열 • 길어깨부 균열 등

【그림 5.2.1】 보수·보강방안 추진방향

5.2.2 결함내용별 보수·보강방안

【표 5.2.2】보수·보강 일람표

구 분	손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	382.7	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	511	m	지속관찰	-
	재균열(0.2㎜이하)	126.8	m	지속관찰	-
	재균열(0.3㎜이상)	299.5	m	지속관찰	-
	망상균열	10.5	㎡	지속관찰	-
	철근노출	10	㎡	지속관찰	-
	박락/들뜸	4.15	㎡	지속관찰	-
	표면오염	60	㎡	지속관찰	-
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	2.9	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	58.6	m	지속관찰	-
	박락	0.41	㎡	지속관찰	-
	타일균열/파손	480	개소	지속관찰	-
공동구	균열(0.2㎜이하)	2.1	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	7.2	m	지속관찰	-
	공동구 덮개 파손	8	개소	지속관찰	-
	타일 균열/파손	30	개소	지속관찰	-
배수시설	집수구 토사퇴적	9.15	㎡	정비	3
도로부	포장부 스캘링	59.78	㎡	지속관찰	-
	포장부 스폴링	13.96	㎡	지속관찰	-
	포장부 균열	24.3	m	주입보수	3
	포장부 균열(보수미흡)	3.5	m	지속관찰	-
	망상균열	4	㎡	지속관찰	-
	길어깨부 스폴링	0.16	㎡	지속관찰	-
	길어깨부 균열	0.6	m	주입보수	3
피난연결통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	10	m	지속관찰	-
옥외 공동구	균열(0.2㎜이하)	118.1	m	지속관찰	-
	균열/백태	1.6	m	지속관찰	-
	망상균열	7.62	㎡	지속관찰	-
	몰탈 망상균열/들뜸	5.89	㎡	지속관찰	-
	Joint부 누수	2	m	지속관찰	-
	누수/백태	1.71	㎡	지속관찰	-
	우수유입흔적	4	㎡	지속관찰	-

5.2.3 보수·보강 방안

가. 표면처리공법

1) 개요

시설물의 내구성 확보를 위해 폭 0.3mm미만 균열 및 균열백태에 대하여 실시하는 보수 방안으로 공법의 상세 내용은 다음과 같다.

2) 시공흐름도

표면처리, 치핑	콘크리트 열화부위, 균열부 바탕처리
↓	
표 면 청 소	콘크리트 표면처리후 고압살수기를 이용하여 표면을 고압세척한다. (5,000 PSI(350kg/㎠)의 압력).
↓	
표면보호제 도포	표면보호를 위하여 표면보호제를 도포한다. 제품 선정 후 표준 도포량을 확인한다.

3) 보수재료의 선정

【표 5.2.3】 표면보수 재료목록

구 분	방수성 향상	내구성 향 상	균 열 제 어	내하성 향 상
도막탄성방수재	◎	○	×	×
침투성방수제	○	△	×	×
폴리머시멘트모르타르	○	△	×	×
시멘트필라	○	△	×	×
탄소섬유시트	◎	◎	◎	◎
아라미드, 섬유시트	◎	○	◎	◎
유리섬유시트	◎	○	△	△
◎: 우수, ○:양호, △:가, ×:불가				

나. 균열 주입보수

1) 개요

콘크리트 구조물에 0.3mm 이상의 균열이 발생한 경우 콘크리트 균열부분을 깨끗이 청소하고 지수성이 좋은 수지를 주입하여 균열을 충진하고 더 이상의 균열이 발생하지 않도록 하는 작업이다. 에폭시 수지 주입공법을 적용할 때에는 충분한 가사시간과 균열 폭에 적합한 점도를 가진 재료를 선정하는 것이 중요하며 점도는 용재를 넣어 조절 가능하지만 과다하면 접착력이 저하되므로 주의하고 진행 중인 균열의 경우 변형성이 작은 에폭시 수지를 사용하면 보수한 균열 부근에 새로운 균열이 발생하는 경우가 많으므로 주의를 요한다.

2) 에폭시 주입제의 특성

① 습기, 습윤, 수중에서도 시공이 가능하여야 한다.
② 방청효과가 뛰어나야 한다.
③ 오염이나 독성이 없어야 한다.
④ 내마모성이 뛰어나야 한다.
⑤ 콘크리트 탄산화방지가 있어야 한다.

3) 시공방법 및 유의사항

① 기존 콘크리트 표면의 균열부위를 공기압축기를 이용하여 이물질을 깨끗이 제거한다.
② 공기압축기 사용시 압력을 적절히 조절하면서 사용하고 분진 및 먼지 등이 발생되므로 보호안경을 착용하도록 한다.
③ 균열부위를 전동커터를 이용하여 V-CUTTING하며 커팅시 분진 및 파편이 발생되므로 보호안경을 착용하고 작업에 임한다.
④ 균열부위에 좌대 및 주입기를 20 ~ 30cm 간격으로 균열 폭에 맞추어 설치한다.
⑤ 균열부위에 틈이 없도록 수성폴리머 몰탈 또는 퍼티로 밀실하게 충전한다.
⑥ 기온이 5℃ 이하에서는 작업을 중지해야 한다.
⑦ 주입파이프를 통하여 저점도 에폭시 주입재를 주입한다.
⑧ 주입재 주입이 완료된 후 12시간이상 경화된 후 주입좌대를 제거한다.
⑨ 비가 예상되거나 습도가 80%이상일 경우, 안개가 심한 경우 작업을 중지하여야 한다.
⑩ 공사 완료 후 시공도구 및 배합통 등은 바로 세척한다.
⑪ 주입용 파이프 설치 시 균열의 교차점은 반드시 설치한다.
⑫ 균열의 중심부와 주입용 파이프의 중심부는 완전히 일치시켜 부착한다.

4) 보수 재료의 선정

【표 5.2.4】KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지)

항 목	기준치	항 목		기준치	시험방법
배합비	주제 : 경화제 (3:1 이상)	접착 강도	표준조건	6.0N/㎟ 이상	KS F 4923
			습윤시	3.0N/㎟ 이상	
외관색상	혼합시 투명	인장강도		15.0N/㎟ 이상	
점도(mPs·s)	130~260±50	경화수축율		3% 이하	
가시시간	상온 60분±10	인장파단시 신장율		10% 이하	
지속경화시	상온 14시간±5	완전 경화시간		24~36시간	-
- 경질에폭시 중에서 점도가 100~1000mPs·s인 에폭시를 저점도 에폭시라 함 - 초저점도 조건에서도 상기의 접착강도 및 인장강도를 만족하여야 함					

5) 시공흐름도



주입은 저압 저속의 주입공법이 주요하며, 저압·저속의 주입공법은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있다. 이 공법은 균열위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 압입하는 방식은 【표 5.2.5】과 같다.

【표 5.2.5】저압·저속식 주입방법

압입방식	용기의 형태
압축용기에서의 압축공기로 주입	플라스틱제의 실린더
압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	플라스틱제의 압력탱크
고무시트의 복원력으로 주입	플라스틱제 틀에 고무시트를 고정
고무풍선압으로 주입	고무풍선
고무밴드의 복원력으로 주입	플라스틱제 실린더와 피스톤
캡슐내의 용수철로 주입	플라스틱제 캡슐 탱크

이 공법을 적용함에 있어서는 시공위치, 시공시기에 맞는 작업시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하고, 균열폭에 알맞은 수지의 점성도는 【표 5.2.6】과 같으며, 일반적인 주입파이프의 간격은 【표 5.2.7】과 같다.

【표 5.2.6】균열폭에 알맞은 수지의 점성도

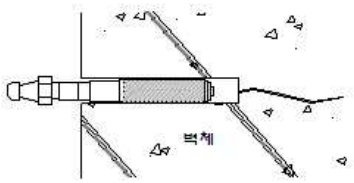
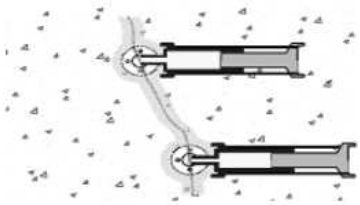
형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【표 5.2.7】일반적인 주입파이프의 간격

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

이 공법은 다음과 같은 특징이 있다. 수지가 들어있는 용기를 균열위에 설치하므로 사람의 손을 필요로 하지 않고, 용기높이의 저압력에 의해 자동으로 주입 되므로 압력에 의한 실링부의 파손도 작아 시공관리가 용이하다. 그리고 주입되는 수지의 거동은 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 방생되지 않는다. 주입압력은 4kg/㎠ 이하로 규정되어 있으나 실제로는 사용할 수 있어, 습윤환경에서 사용 가능하다. 반면, 주입기에 여분의 주입재료가 남아 재료의 손실이 큰 단점이 있다.

【표 5.2.8】 균열주입공법 비교

구분	고압주입공법	저압주입공법
공법개요	• 균열부를 천공하여 팩커를 삽입한 후 주입펌프를 사용하여 균열 내부로 에폭시 수지를 강제로 주입하는 공법	• 균열부에 좌대를 부착시키고 고무줄 또는 스프링 주사기에 에폭시를 주입한 후 균열 내부로 에폭시수지를 주입하는 공법
개요도		
특징	• 주입방법 : 패커에 의한 주입 • 주입압력 : 고압	• 주입방법 : 좌대+고무줄 or 스프링 • 주입압력 : 저압
장점	• 단기간 작업 가능 • 누수균열 보수 시 적합	• 저압으로 균열 확장 없음 • 적용 실적이 많음
단점	• 주입량 조절이 어려움 • 시공 부위에 제한을 받음 • 천공 시 균열 내부가 막힘 • 주입 시 균열이 확장될 수 있음 • 미세 균열 주입이 어려움	• 주입량 조절이 어려움 • 주입재의 재주입이 어려움 • 다량의 폐기물이 발생됨 • 보수에 장시간이 소요 • 습윤부위 시공시 효과 떨어짐
경제성	△	◉
시공성	△	◉

다. 단면보수공법(철근 노출부)

1) 개요

이 공법은 콘크리트의 박리, 박락 등에 의하여 철근의 노출 및 부식에 대한 보수공법으로 녹을 제거하고 단면결손부를 회복시키는 공법이다.

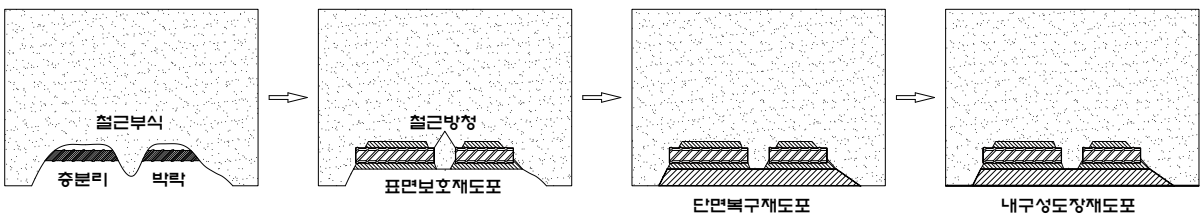
2) 시공방법

① 청소 및 녹제거
- 콘크리트 건전부까지 치핑한다.
- 발청된 부분을 진동 블라스트 등으로 온전히 제거한다.
- 기타 이물질을 청소 제거한다.

② 단면복구
- 건전부 콘크리트에 침투제를 도포한다.
- 철근에 방청 처리를 한다.
- 콘크리트 결손부위에 방청 페이스트를 충전한다.

③ 마감처리
- 주입 파이프 절단
- 그라인더 등을 이용한 면 정리

3) 개요도



【그림 5.2.2】 철근노출부 단면복구 개요도

4) 사용재료

녹전환형 방청제, 수지계 방청재, 몰탈, 시멘트, 팽창제

5) 주의사항

① 신, 구접착에 주의하여 2차 박락을 방지한다.

② 불량면을 확실하게 제거한다.

③ 침투제 및 방청제의 도포를 충분히 한다.

④ 필요시 형틀을 설치한다.

⑤ 주입 파이프의 간격을 일정하게 한다.

라. 단면보수공법(철근 비노출부)

1) 개요

이 공법은 열화 된 구체를 강화하고 단면결손부에 대하여 조강 무수축 몰탈로 단면을 수복시키는 일반적인 공법이다.

2) 시공방법

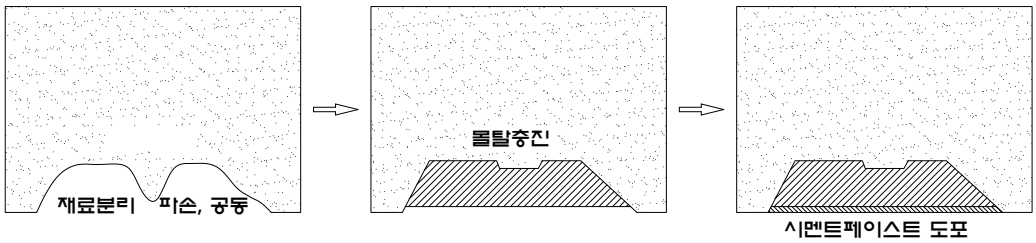
① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.

② 고압세척 및 콘크리트 접착제 도포 - 고압세정기 사용하여 이물질제거

③ 몰탈충진 - 몰탈로 단면복구

④ 표면처리 - 시멘트페이스트 등 도포

3) 개요도



【그림 5.2.3】 재료분리, 파손 단면복구 개요도

4) 결손 단면복구용 재료 성질

① 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것

② 부착력이 높은 재료

5) 주의사항

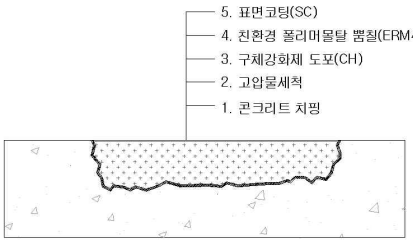
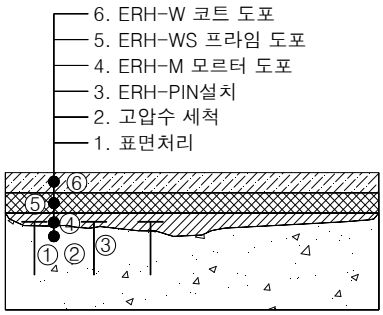
① 고압세정기의 용량은 50 ~ 150 kg/㎠를 사용

② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

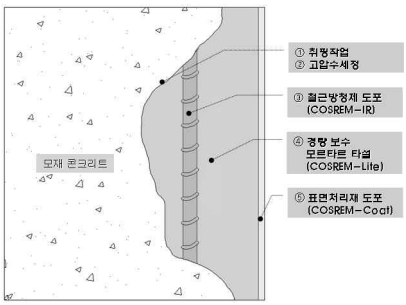
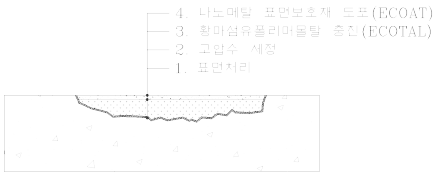
6) 콘크리트 충진

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

【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교

신기술 명칭	E.R.M 공법 (신기술 제 576호)	에코플래시공법 (신기술 제 577호)
공 법 개 요	• 친환경 모르타르와 급결제용 날개식 이중 분사장치 및 원추형 노즐로 구성된 스프레이 장비를 이용한 콘크리트 구조물 급속 보수공법	• 접착보강핀을 설치하고 미세분말 플라이애시 및 삼산화규산칼슘 섬유가 혼입된 모르타르를 회전돌기형 믹싱샤프트건에 의해 건식분사하는 콘크리트 단면보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 건설폐기물인 순환골재를 활용하여, 급결제 사용에 따른 초기강도의 감소현상을 저감시키기 위해서 알카리 무기염계를 이용한 친환경 모르타르를 사용하는 공법	• 중성화, 염해, 동해 및 화학적 부식등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식 스프레이를 이용하여 화학적, 물리적으로 개보수하고 접착보강핀을 추가하여 장기부착강도를 증진시킨 보수공법
장 점	• 무기계 재료로 기존구체와의 일체화 • 급결제(필요시) 및 알칼리 무기염계 사용으로 초기부착강도 확보 • 스프레이시 리바운드가 적다 • 산업부산물 사용으로 친환경적 • 내구성능 우수 • 1회 최대 300mm 시공으로 작업시간 단축(요구시)	• 무기섬유 혼입에 의한 물리적 특성우수 • 화학적 부식 및 중성화에 저항성 우수 • 기계화(건식스프레이)시공을 통한 우수한 품질과 공기단축 • 천연재료의 사용으로 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 재손상 발생가능 적음 • 물리적 접착보강핀을 통한 장기부착 강도 확보 • 무기코트재료에 의한 표면피복
단 점	• 5℃이하 작업어려움 • 기계화시공으로 숙련공이 필요	• 공정이 다소 복잡하여 시공전문가 필요 • 기계화 시공시 습식스프레이에 비해 분진 발생이 많음

【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교(계속)

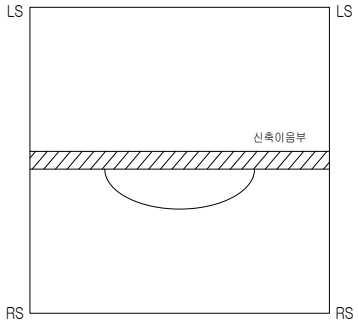
신기술 명칭	COSREM 공법 (신기술 제 596호)	에코텍트 공법 (신기술 제 642호)
공 법 개 요	• 경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수공법	• 황마섬유 혼입 폴리머 모르타르와 나노메탈 함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리머 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호재를 항온 정량 배합 분사 장비로 균일하게 분사하여 내구성을 확보하는 콘크리트 보수공법	• 몰탈 미세 기공에 1㎛이하의 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 조직을 치밀하게 하며, 유리 전이온도가 낮은 에멀젼을 사용하여 유연성과 탄성을 유지하여, 장기 내구성을 유지하는 열화 콘크리트 보수 공법
장 점	• 내화학성, 중성화 방지, 내후성 및 내염성이 우수, 부착력 및 내구성 우수 • 스프레이 장비와 인력 시공에 대한 현장구애를 받지 않으므로 시공성 향상 • 난연성1급 재료, 화재시 안전성 확보함 • 내굴곡성(신율)이 좋아 구조물 의 진동(거동) 변화에도 표면에 균열이 발생하지 않음 • 친환경 내후성 도료(ECOAT)임	• 조직이 치밀하여 내구성 및 강도 우수 • 동절기에도 유연성과 탄성을 지녀, 내구성 유지 • 동결 융해의 피해 최소화 • 부착강도 우수 • 몰탈 경량화로 자재량 절감 • 시공절차가 간단하며, 경제성이 우수 • 친환경 표면보호재를 사용
단 점	• 최신기술 적용공법으로 정밀시공 요함 • 실적 부족	• 시공에 대한 기초 지식이 필요함

마. 단면정리(반원형균열(박락우려) 탈락예상부 처리방안)

1) 개요

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

2) 보수방법



천단부 반원형균열

- 콘크리트 깨기 후 표면정리

3) 시공순서

사전조사 - 손상현황 및 범위결정

↓

시공계획 수립 - 제작도 작성

↓

단면 결정 - 필요한 제원결정

↓

손상부 단면정리(털어내기) - 이물질 제거 및 박락우려부 제거

5.2.4 보수 후 성능평가 방법

보수를 실시한 후 아래에서 제시하고 있는 방법으로 보수 후 성능평가를 실시하여 보수공사가 적합하게 이루어져 있는가를 검사하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

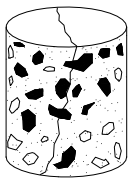
보수공사 후 평가는 구조상 문제가 되지 않는 부분에서 작은 지름의 코어를 채취하여 보수효과를 확인을 행하는 것이 좋다. 또는, 구조물에 대한 보수에 의한 방수효과를 비파괴적으로 확인하는 방법으로서는 가스압입 누수진단기나, 방식효과에 대해서는 전기 화학적인 방법인 분극저항 측정법 등이 제안되고 있다.

가. 코어채취에 의한 평가 방법

1) 콘크리트 코어강도

KS F 2422

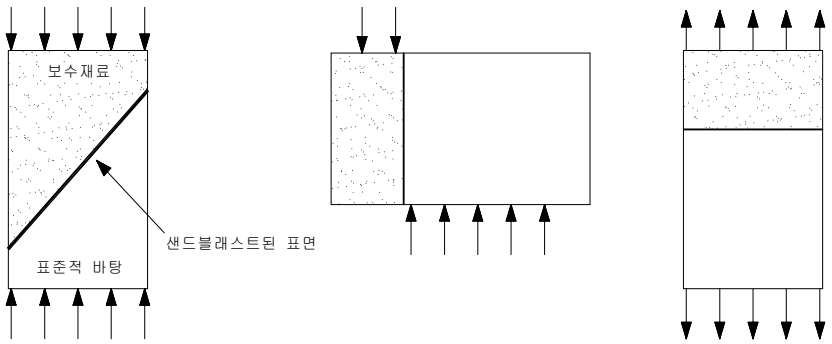
2) 육안에 의한 주입효과 평가



· 주입효과를 위해 채취된 콘크리트 코어

- 외국의 연구결과에 의하면 균열깊이 80% 주입만으로도 거의 완전한 주입효과를 나타낼 수 있다고 보고되고 있어 최소한 균열깊이의 80% 이상 주 입이 권장된다.

3) 실내시험에 의한 평가



경사전단시험 직접 전단 시험 일축인장시험

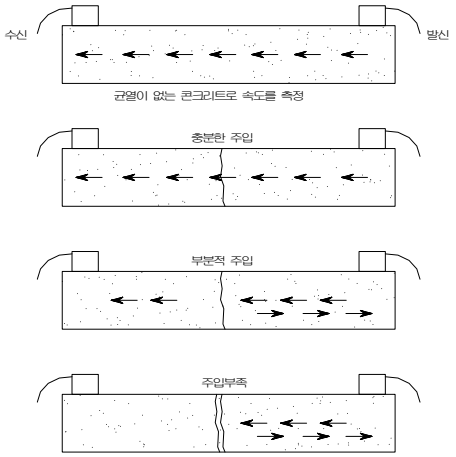
① 경사전단 시험 : 경제적이고 쉬움(부착강도=파괴하중/부착면적)관련 시험법
(ASTM C 881~884, ASTM C 1042, 1059)

② 직접전단 시험 : 시험실과 현장 어느 곳의 공시체도 측정가능관련 시험법
(BNL직접전단, IOWA 직접전단)

③ 일축인장 시험 : 현장의 콘크리트와 덧씌우기의 부착강도를 측정하는 시험방법
관련 시험법(BNL직접전단, IOWA 직접전단)

나. 초음파신호 속도(UPV) 시험

초음파 전달속도 측정에 의한 보수효과의 평가는 아래 그림과 같다.



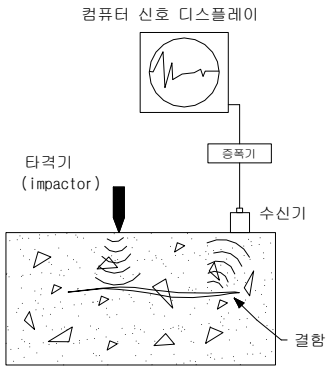
① 균열이 없는 콘크리트 단면에 초기화 (calibration)를 행한다.

② 송신 수신장치는 일정간격 고정한다.

③ 주입된 균열 콘크리트와 균열이 없는 콘크리트는 같은 전파속도를 갖는다.

④ 주입이 되지 않은 균열 부위는 작은 초음파 전파속도를 보인다.

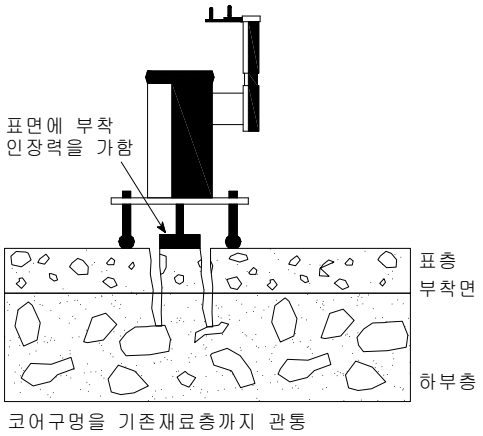
다. 충격음(Impact echo)법

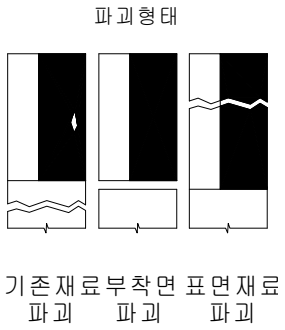


· 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 아래 그림과 같이 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 준다. 보수효과는 보수전과 후의 측정값의 차이와 건전면에서 측정된 값의 비교를 통하여 확인할 수 있다.

라. 현장 부착강도 시험

덧씌우기나 표면접착제의 부착강도는 인발시험(pull-off test)과 같은 현장시험으로 판정할 수 있다. 코어를 기존재료에 부착되어 있는 상태로 둔 채, 인장기구를 코어에 연결하여 파괴될 때까지 하중을 구한다. 보수한 부분을 바로 평가하여 보수공사를 조정할 수 있는 장점이 있다.





5.3 보수·보강 개략공사비

【표 5.3.1】보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	382.7	95.68	㎡	49	4,688	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	511	511.00	m	130	66,430	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	126.8	31.70	㎡	49	1,553	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	299.5	299.50	m	130	38,935	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	10.5	10.50	㎡	130	1,365	-	주입보수
	철근노출	지속관찰	10	15.00	㎡	232	3,480	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸	지속관찰	4.15	6.23	㎡	215	1,338	-	제거 및 단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	2.9	0.73	㎡	49	35	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	58.6	58.60	m	130	7,618	-	주입보수
	박락	지속관찰	0.41	0.62	㎡	215	132	-	단면보수
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	2.1	0.53	㎡	49	25	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	7.2	7.20	m	130	936	-	주입보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	8	8.00	개소	100	800	-	공동구 덮개 재설치
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	9.15	13.73	㎡	80	1,098	3	-
	포장부 균열	주입보수	24.3	24.30	m	130	3,159	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	0.6	0.60	m	130	78	3	-

【표 5.3.1】 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	10	10.00	m	130	1,300	-	주입보수
옥외 공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	118.1	29.53	㎡	49	1,446	-	표면처리
	균열/백태	지속관찰	1.6	1.60	m	130	208	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	7.62	11.43	㎡	49	560	-	표면처리
	몰탈 망상균열/들뜸	지속관찰	5.89	8.84	㎡	49	432	-	표면처리
	Joint부 누수	지속관찰	2	2.00	m	20	40	-	Joint 실링보수
	누수/백태	지속관찰	1.71	2.57	㎡	49	125	-	표면처리
	우수유입흔적	지속관찰	4	6.00	㎡	49	294	-	표면처리
순공사비 합계(천원)									140,485
제경비(순공사비×50%)									70,243
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위							-
		2순위							-
		3순위							6,503
		지속관찰							204,225
유지보수 개략공사비 총계									210,728

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 철근노출 단면복구 → 30㎜(잡철물 제외)
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 2015년 하반기 현장조사시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

5.4 유지관리 방안

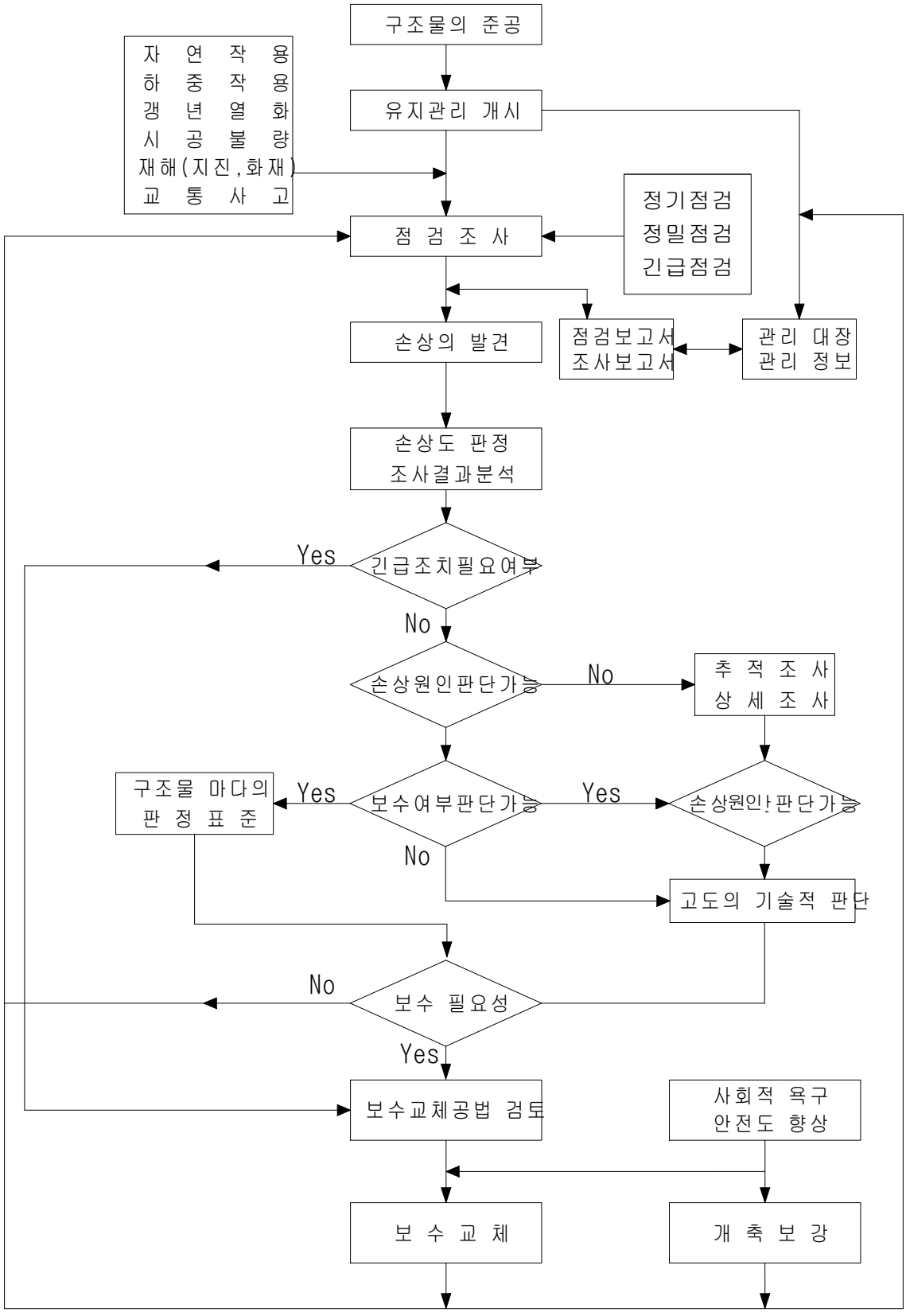
공용중인 시설물은 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인하고 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 이루어지도록 체계적인 유지관리가 필요하다. 시설물에 발견된 결함은 보수시기를 놓치면 손상 증대로 보수가 어려울 뿐만 아니라 보수비용 증대, 보수기간 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 되어 지속적인 유지관리는 매우 중요하다.

따라서 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복구하여야 하며, 시간 경과에 따라 시설물의 개량, 보수·보강을 실시하여 건전성을 유지토록 하여야 하며 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 정밀점검을 실시하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

5.4.1 유지관리 일반

시설물의 유지란 건설된 시설물이 제 기능을 유지하기 위하여 정기점검, 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고, 손상된 부분을 원상복구 하여 당초 건설된 상태를 유지함과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 시설을 추가함으로서 이용자의 편의와 안정을 도모하기 위한 목적으로 시행하는 것이다.

시설물 유지관리는 사후 유지관리와 예방 유지관리로 분류할 수 있다. 사후 유지관리는 문제가 발생된 후 보수 또는 보강하는 방식이고, 예방 유지관리는 문제발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 적절한 조치를 취함으로써 문제발생을 예방하는 방식이다. 과거에는 보통 사후 유지관리가 대부분이었으나, 오늘날은 기술 및 장비의 발달로 예방 유지관리를 지향하고 있으며, 이를 통한 시설물의 안전성 및 사용성 확보에 그 목적이 있다. 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 아래의 항목에 대해서【그림 5.4.1】에 따라서 수행하는 것이 바람직하다.



【그림 5.4.1】 유지관리 흐름도

가. 자료관리

자료관리는 대상구조물이 처해있는 상황을 문서를 통하여 객관적으로 확인할 수 있도록 하기 위한 자료를 관리하는 업무를 말하며, 일반적으로 설계도서, 구조물대장, 보수·보강관리대장, 사고이력 등의 자료를 정리·관리하는 일을 말한다. 자료는 구조물의 점검, 보수·보강시마다 계속 증가하므로 수정이 편리하도록 작성되어야 하며, 이런 점에서 볼 때 관련 내용을 전산화하여 관리하면 효율적이다.

일반적으로 구조물의 유지관리시 필요한 관련 자료를 열거하면 다음과 같다.

◦ 설계도서(시공 및 보수 도면, 구조계산서 등)

◦ 공사내역서 및 시방서

◦ 보수·보강이력

◦ 사고기록, 점검 및 진단이력

◦ 사진 및 시험결과

◦ 시설물 관리대장

◦ 상태 및 안전성 평가기록

나. 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.

다. 점검 및 진단(예방 유지관리)

점검은 구조물의 현상을 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 정밀안전진단을 실시한다.

라. 보수 및 보강(사후 유지관리)

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.

5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목

본 구조물의 공용기간 중에는 점검주기 및 주요 조사항목, 등급별 실시주기에 따른 지속적인 점검을 실시하여 시설물의 안전성과 내구성을 유지하여야 할 것으로 판단된다.

【표 5.4.1】 점검주기 및 주요 조사항목

점검종류	점검주기	주요 조사항목
정기점검	반기 1회	◦재료분리, 철근노출, 박리, 균열, 박락, 사용하중, 누수 등에 관하여 전회 점검 이후 변형, 변위 발달상태 ◦손상의 지속유무 확인(누수, 균열, 변형 등)
정밀점검	안전등급에 따라 차등실시	◦설계도서 검토 ◦형상검사(규격, 변위, 변형, 침하 등) ◦상태검사(파열, 손상, 부식, 균열, 누수, 열화 등) ◦현장시험·측정(강도, 철근, 피복, 철근부식, 중성화 등) ◦전회의 정기점검 및 정밀점검시와 비교하여 손상의 진행여부 판단 ◦보수, 보강시공 상태의 확인(필요시)
긴급점검	필 요 시	◦손상의 정도, 보수의 긴급성, 보수작업의 규모, 주요 보조부재의 내하력, 사용제한 여부 등
정밀 안전진단	안전등급에 따라 차등실시	◦구조물의 노후화, 손상정도, 초기 및 점검 상태로부터의 변화 확인 ◦구조해석 및 안정성 평가 ◦정기점검 및 정밀점검 결과 분석

※ 정밀점검 및 정밀안전진단 실시주기
(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 : 국토해양부, 한국시설안전공단. 2010.12)

【표 5.4.2】 등급별 실시주기

안전등급	정밀점검		정밀안전진단
	건 축 물	그 외 시설물	
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상
B, C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상
D, E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상

※ 건축물에는 그 건축물의 부대시설인 옹벽과 절토사면을 포함하며, 항만시설물 중 썰물시 바닷물에 항상 잠겨있는 부분은 4년에 1회 이상 정밀점검을 하여야 한다.

※ 최초로 실시하는 정밀점검은 시설물의 준공일 또는 사용승인일(임시 사용승인 포함)을 기준으로 3년이내(건축물은 4년 이내)에 실시하여야 한다.

※ 정밀점검 또는 정밀안전진단을 받은 경우 그 날(완료일)을 기준으로 정밀점검의 실시주기를 정한다. 또한 정밀안전진단 실시 기간과 중복되는 경우에는 생략할 수 있다.

5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

금회 정밀안전진단 결과, 무척산터널(대구)은 라이닝 구간에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 공동구에 균열, 덮개 파손, 집수정에 토사퇴적, 포장부에 스폴링, 스캘링, 균열 등이 다수 조사된 상태이며, 손상진전을 방지하고 구조물의 내구성 확보를 위해 관리가 요구된다.

【표 5.4.3】부재별 유지관리 중점사항

부재구분	중 점 점 검 내 용	관련사진
라이닝	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부 - 신축이음 주변 단면손상부 탈락 여부에 대한 주의관찰	 라이닝 균열(S138, 천단부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(파손) 손상 확대 여부	 공동구 덮개 파손(S122)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스캘링(S19)

5.4.4 부위별 점검요령

가. 개착구간

구분	점검항목		점검장비
일반사항	종방향균열	- 위치, 길이, 균열폭, 방향 및 연속성 - 지하수의 유출 여부 - 필요시 철근탐사(간격, 피복두께) 실시	- 카고크레인 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 써치랜턴
	횡방향균열	- 위치, 길이, 균열폭 및 간격 - 균열의 연속성, 단차 발생 여부	
	사방향균열	- 위치, 길이, 균열폭, 방향 및 연속성	
	망상균열	- 위치, 배면 누수 및 백태 손상의 추가 발생 여부	
	누수 및 백태	- 누수 위치 및 규모, 2차 손상	
	단면결함	- 발생 규모, 깊이 조사 - 부식 철근의 상태 및 종류 조사 (인장·압축철근 및 배력철근) - 박리 박락, 층분리, 백태, 동해, 파손, 오염 등에 대한 현황조사 - 배수 및 소제구 상태 - 각종 표지판 부착상태	
○ 중점점검 사항		- 천장부 및 벽체 종방향 균열 - 발생된 균열의 진행성 여부 조사 - 시공이음부 주변 누수, 백태 - 결함 보수개소의 효과 조사	

나. NATM구간

1) 갱문

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

2) 라이닝

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

3) 라이닝 접속시설

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

제 6장 종합결론

제 6장 종합결론

무척산터널(대구방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,042m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.428% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(종점 7Span)+굴착(NATM, 224Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

본 과업은 준공 후 최초로 실시하는 정밀안전진단이며, 설계 및 시공자료와 유지관리자료를 분석한 후 과업수행계획에 따라 외관조사, 내구성 조사 및 시험 등의 현장조사를 실시하였고, 설계도서와 현장조사의 결과를 토대로 구조안전성을 평가하였으며, 정밀안전진단결과를 요약・정리하면 다음과 같다.

가. 외관조사 결과

1) 터널 시점부 주변 조사 결과

- 터널 시점부 사면은 전반적으로 양호하나 일부 구간에 표층유실이 조사되었으나, 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.
- 갱문 출입구는 트임균열이 발생하였으나, 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하며, 갱문 주변부는 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 배면의 우수처리를 위해 배수로가 설치되어 있으며, 배수시설 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적, 균열이 조사되어 보수 계획 수립 후, 적절한 보수가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면에 녹생토 유실 흔적, 식생불량, 표층유실, 절리부 누수가 조사되었으나, 손상정도가 경미하여고 주변부의 추가 손상이 발생되지 않아 주의관찰이 바람직하며, 좌측 절토 사면부의 숏크리트 파손 손상은, 추가 손상방지를 위해 단면보수가 바람직하다.

- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 종점부 터널은 면벽식 갱문으로 갱문 배면부에 배수로가 설치되어 있고 법면상단부에 산마루 측구가 설치된 상태로 초기 이물질 퇴적, 산마루 측구 파손, 균열, 체수가 조사되었다. 체수는 초기 이물질 퇴적에 의한 손상으로 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하며, 산마루 측구 파손, 균열부는 내구성 확보를 위해 보수가 필요하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며, 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다. 다만, NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 확폭으로 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 지반 이완에 의한 구조적 손상보다는 시공시 거푸집 탈형시기, 온도 및 건조수축 등 복합적인 시공적·환경적 요인에 의해 발생된 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대·진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 균열 발생 위치 및 형태를 고려할 때, 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락의 단면 손상이 조사되어 구조물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하며 들뜸부 콘크리트는 콘크리트 낙하시 사고위험이 있어 주의 시공이 바람직하고 재손상 방지를 위해 정밀시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 파손, 공동구 벽체 타일 균열/파손 등의 손상이 조사되었다.

- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 원활한 유지관리를 위해 보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.
- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 주의관찰토록 한다.
- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행 시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.

5) 배수시설

- 배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검결과, 대부분 양호한 것으로 조사되었으나 집수구에는 이물질 퇴적이 조사되었으므로, 원활한 배수 처리를 위해 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

6) 도로부(포장면)

- 무척산터널(대구방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 균열부 보수미흡, 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 망상균열, 균열부 보수미흡 손상은 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하고, 균열은 온도 및 건조수축에 의한 손상으로 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 무척산터널(대구방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다.

8) 부속시설(옥외공동구)

- 옥외공동구는 관리동과 터널 구간의 설비시설이 통과하는 시설물로 점검결과, 균열, 균열/누수/백태, 몰탈 망상균열/들뜸, Joint 누수, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 등의

손상이 조사되었다

- 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 균열/누수/백태 손상은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하며, 몰탈 망상균열/들뜸은 보수불량에 의한 손상으로 재보수가 바람직하다.
- Joint 누수는 신축이음부 누수로 내구성 확보를 위해 실링보수가 바람직하며, 누수/백태, 우수유입(개구부), 체수 손상은 공동구 연결을 위한 개구부를 통한 손상으로 표면처리가 바람직하다.

나. 내구성 시험 및 측정 결과

- 콘크리트의 내구성 시험결과 콘크리트의 강도는 설계기준강도(라이닝 24MPa)를 상회하며, 철근배근상태는 설계치에 근사한 것으로 조사되었다.
- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이는 대부분 30.0㎜이상으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식발생의 우려가 없는 "a" 상태로 건전성을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.
- 염화물함유량 시험결과, 염화물이 함유되어 있으나 부식발생 가능성 낮은 상태인 "b" 이상으로 평가되었다.
- 철근구간에서 균열깊이 시험을 실시한 결과, 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되어, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.
- 종단 및 횡단 측량 결과, 다소의 오차가 발생하였으나, 오차범위가 경미하고 오차 발생에 따른 2차 손상이 발생되지 않아 시공 및 측정시 발생된 오차로 판단되며 대체로 설계치와 유사하게 측정되었다.
- 무척산터널(대구) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 130m마다 횡방향으로 G.P.R탐사를 실시한 결과, 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.72%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

다. 상태평가 결과

- 상태평가결과, 바닥판, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 내구성 확보를 위해 일부 보수가 필요한 "B" 로 평가되었다.

라. 안전성 평가 결과

- 터널 수치해석 결과, 천단부 최대 변위는 -2.344㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 5.354MPa, 록볼트의 최대축력은 36.32kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

마. 결 언

- 무척산터널은 약 10년의 공용기간이 경과한 구조물로 외관조사결과, 구조적인 결함 및 손상이 없는 양호한 상태이다. NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 조사되었으므로, 내구성 확보를 위해 균열에 대해 적절한 보수가 필요하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등은 손상부 콘크리트의 낙하시 통행차량에 사고를 유발할 수 있는 위험요소이므로 제거가 필요하며, 단면보수시에는 재손상이 발생되지 않도록 정밀시공이 필요하다.
- 본 터널의 상태평가 및 안전성 평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.

Ⅲ 무척산터널(부산)

제 1장 현장조사 및 시험

1.1 외관조사 결과

1.2 내구성 조사 결과

1.3 G.P.R탐사 결과

제 1장 현장조사 및 시험

무척산터널(부산방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,062m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.420% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span)+굴착(NATM, 230Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

1.1 외관조사 결과

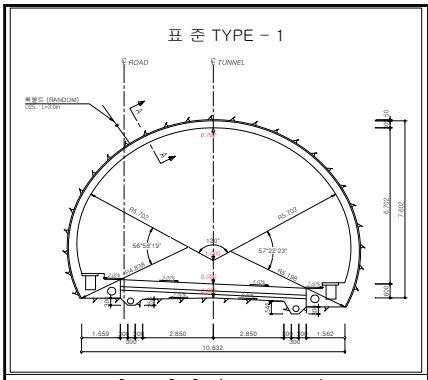
1.1.1 시공현황

본 무척산터널(부산방향)은 '고속국도 제55호선 대구~부산간 건설공사 제9공구'에 해당하며, 시공현황은 다음과 같다.

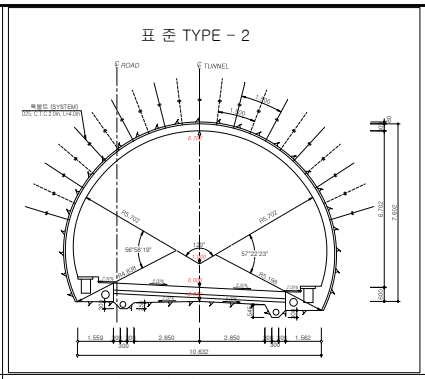
【표 1.1.1】 무척산터널(부산방향) 시공현황

노 선	고속국도55호선(대구방향)	Sta.	부산기점 24.637km
위 치	경상남도 김해시 상동면 여차리 ～생림면 안양리	시공사	대우건설(주)
설계사	동명기술공단	준 공	2006. 02.

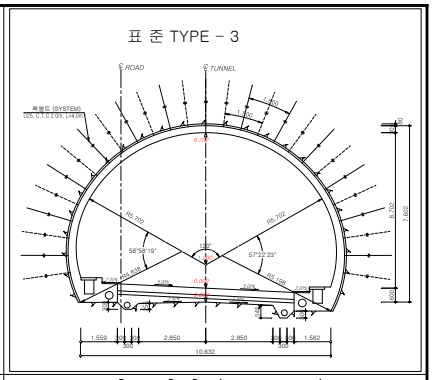
지보패턴 시공현황									
Start. 부산기점	End. 부산기점	굴착방법	지보 형태	형식	Start. 부산기점	End. 부산기점	굴착방법	지보 형태	형식
24k637	24k662	개착공법	-	개착터널	25k182	25k862	전단면굴착	1	NATM
24k662	24k692	반단면굴착	6	NATM	25k862	26k262	전단면굴착	2	NATM
24k692	24k722	반단면굴착	5	NATM	26k262	26k442	전단면굴착	3	NATM
24k722	24k782	반단면굴착	4	NATM	26k442	26k522	반단면굴착	4	NATM
24k782	24k922	전단면굴착	3	NATM	26k522	26k562	반단면굴착	5	NATM
24k922	25k182	전단면굴착	2	NATM	26k562	26k667	반단면굴착	6	NATM



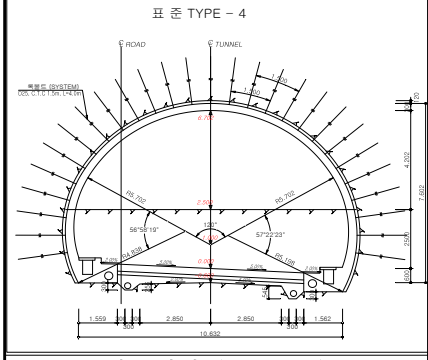
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)	
경암	숏크리트 : 5cm



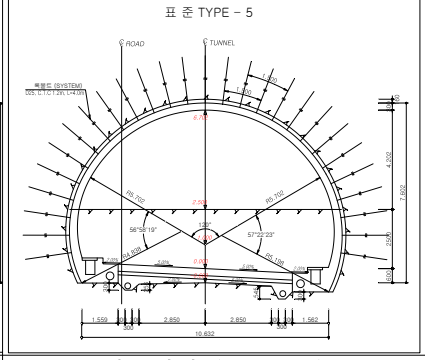
지보패턴 (TYPE-Ⅱ)	
보통암	숏크리트 : 5cm



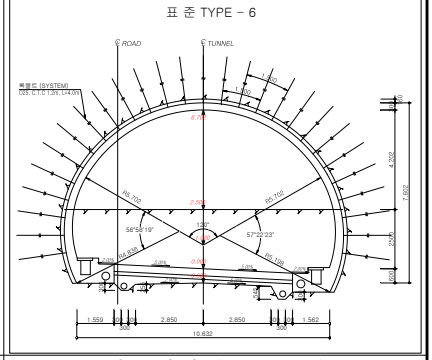
지보패턴 (TYPE-Ⅲ)	
연암	숏크리트 : 8cm



지보패턴 (TYPE-Ⅳ)	
풍화암	숏크리트 : 12cm



지보패턴 (TYPE-Ⅴ)	
풍화암(토)	숏크리트 : 16cm



지보패턴 (TYPE-Ⅵ)	
갱구부	숏크리트 : 16cm

1.1.2 지형 및 지질조건

가. 지형

본 조사지역은 행정구역상 경상남도 밀양군 삼랑진읍, 김해군 생림면 및 상동면 일대로서 태백산맥의 남단부에 해당된다.

본 조사지역의 지형은 해발 고도가 다소 높고 산사면의 경사가 매우 가파른 편이고 이를 암석분포에 관련지어 볼 때 일반적으로 화확적 풍화에 약한 심성암류의 분포지에 비하여 화산암류의 분포지가 험준한 편이며, 화산암류중에서도 본 조사지역에 주로 분포하는 유문암질 암류가 분포하는 지형이 더욱 험준하다.

산계는 능선의 방향은 규칙성이 없으나, 대체로 크게 보아 북북동 방향으로 발달한 향로봉(△727.0m), 금오산(△755.0m), 천태산(△630.9m) 및 무절산을 잇는 주능선이 있고 만어산에서 남서쪽이 음달산 및 매봉산으로 연결되는 환상 능선도 형성되어 있으며, 정규심칙윤회과정으로 볼 때 장년기말에서 노년기초에 해당하는 지형이다.

수계는 주 수류인 낙동강으로 아수지상 및 수지상의 수계망을 이루며 지수류인 밀양강으로 유입되어 주수류로 합류하나, 낙동강 유역에 발달한 여러 하천들은 직접 낙동강에 유입되고 있다.

그리고 주 수류인 낙동강은 폭이 평균 약 1km이고 하상의 표고가 해발 3m 내외이고 유속이 매우 느려서 지류인 밀양강과 만나는 지점에 다소 넓은 충적평야를 형성하여 농경지로 이용되고 있다.

나. 지층

본 조사의 지질은 중생대 백악기 경상누층군 유천층군에 속하는 주사산 안산암질 암류를 같은 층군의 운문사유문암질 암류들이 부분적으로 부정합으로 피복하였으며, 이들을 불국사화강암류들이 관입하였고, 이를 제 4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

이들을 시대순으로 열거하면 주사산안산암질암류인 팔용산 응회암, 비반상안산암, 안산암질라필리응회암, 밀양안산암, 정각산층 및 범도리안산암을 지역에 따라 부정합으로 운문사유문암질암류인 응회각역암, 석영안산암질회류응회암, 유문암질강하응회암, 유문암질회류응회암, 화제리층, 강하응회암, 유문석영안산암질회류응회암 및 유문암이 피복하고 있고, 이들 불국사화강암류인 세립화강암섬록암, 각섬석흑운모화강암, 흑운모화강암 및 산성 암맥류가 관입하였으며 이를 제4기 충적층이 부정합으로 피복하고 있다.

본 지역은 하행기점 6km+248~8km+260의(총길이 2.012km)부근에 위치하는 구간으로서 N66~78W 방향을 향하며, 터널토피의 최대 두께는 약 304m이다.

1) 붕적층(Colluvium)

본 지층은 사면의 활동, 붕괴 및 기타 요인에 의하여 형성된 층으로서 조사지역 전역에 0.5~2.4m 내외의 두께로 분포하고 있으며, 대체로 실트 및 세립 내지 조립의 모래섞인 자갈, 소량의 자갈 및 세립 내지 조립의 모래섞인 실트로 구성되어 통일분류법에 의한 흙의 분류는 GP, GM 및 ML로 분류되고 지층의 상대밀도는 느슨 내지 매우 조밀한 상태이다.

2) 풍화토(Residual Soil)층

본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암이 풍화되어 원위치에 잔류되어 있는 지층으로서 시추공 No. TB-9의 위치에 4.8m 정도의 두께로 분포되어 있으며, 대체로 암편 및 실트섞인 세립 내지 조립의 모래로 구성되어 통일분류법에 의한 분류는 SM으로 분류되고 지층의 상대밀도는 매우 조밀한 상태이다.

3) 연암(Soft Rock)층

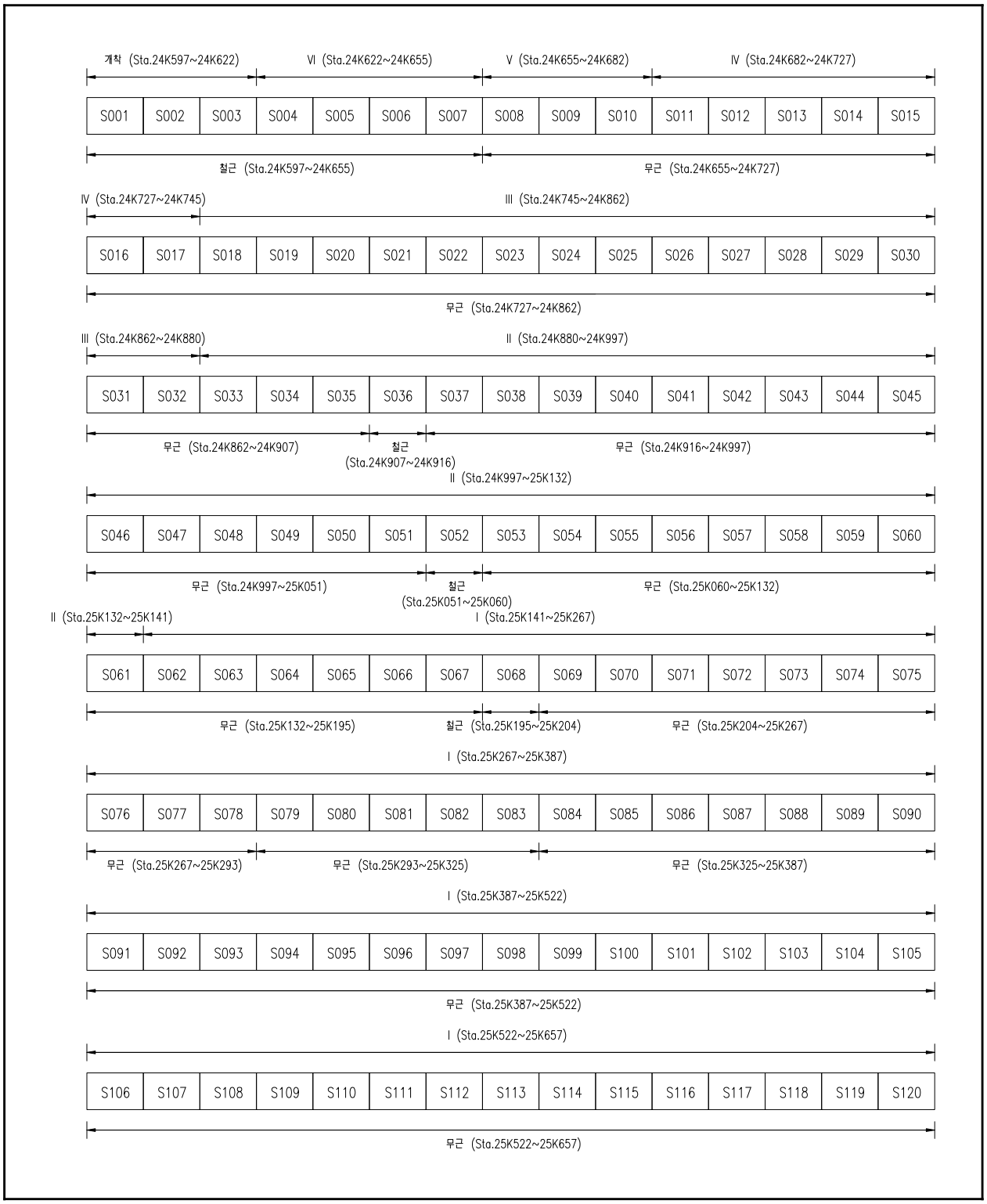
본 지층은 모암인 유문암질회류 응회암의 부분적으로 풍화되어 형성된 지층으로서 시추공 No. TB-9, 10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 0.5~5.3m 내외의 심도에서 확인되고 있으며, 시추작업시 회수된 코아회수율은 10~100% 정도로 저조한 상태이고 R.Q.D는 0~21% 정도이다.

4) 경암(Hard Rock)층

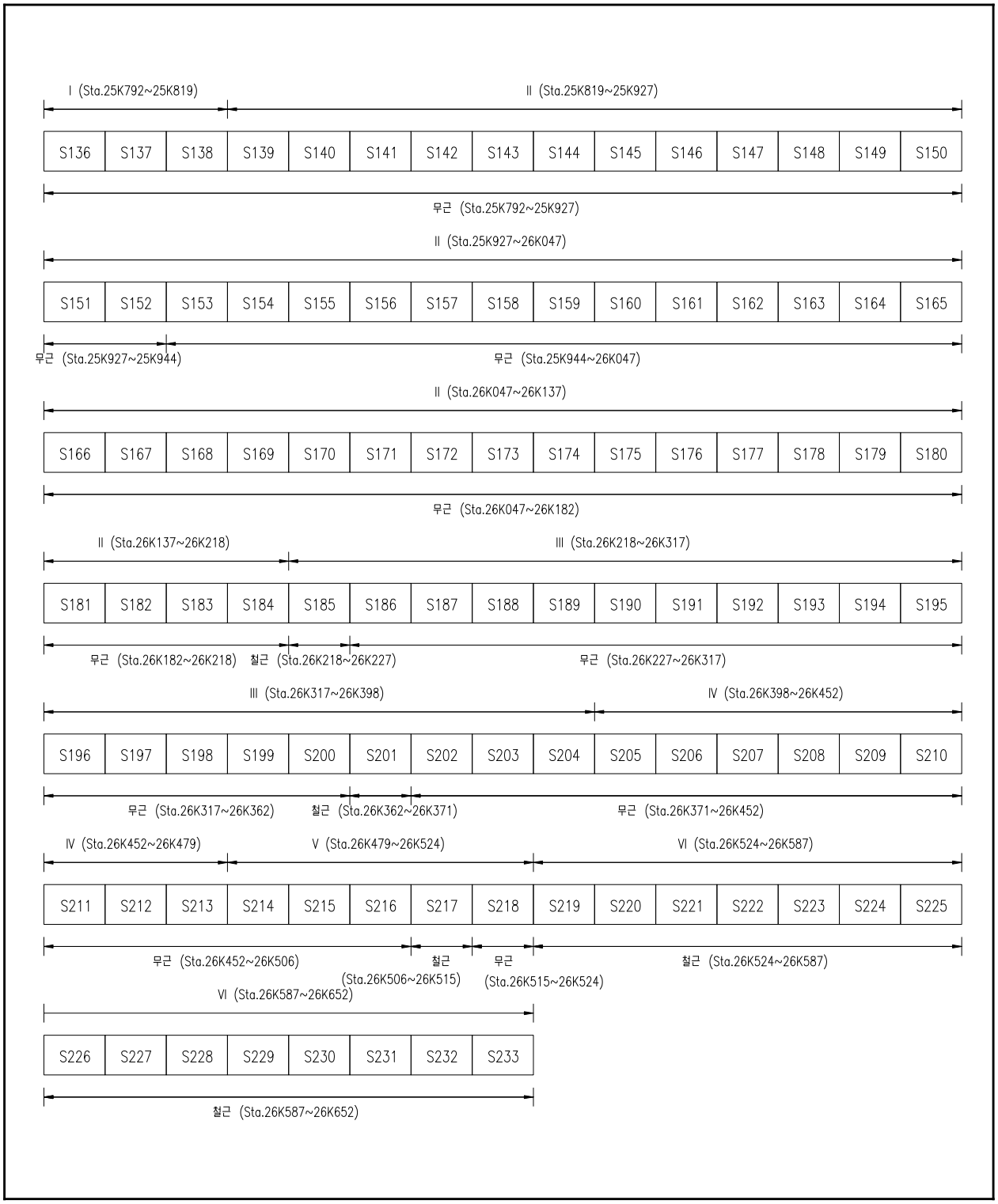
본 지층은 시추공 No. TB-10, 11, 12, 13 및 14의 위치에 1.4~9.0m 내외의 심도에서 확인되고 있으며 시추작업시 회수된 코아회수율은 41~100% 정도이며 R.Q.D는 0%~100%이다.

1.1.3 현장조사 결과

무척산터널(부산방향)의 외관조사는 아래와 같이 구분하여 수행하였다.



【그림 1.1.1】Span별 시공현황



【그림 1.1.1】Span별 시공현황(계속)

【표 1.1.2】Span별 시공현황

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근
S1	24K597	24K604	7m	개착	-	철근	S38	24K925	24K934	9m	NATM	T-2	무근
S2	24K604	24K613	9m	개착	-	철근	S39	24K934	24K943	9m	NATM	T-2	무근
S3	24K613	24K622	9m	개착	-	철근	S40	24K943	24K952	9m	NATM	T-2	무근
S4	24K622	24K630	8m	NATM	T-6	철근	S41	24K952	24K961	9m	NATM	T-2	무근
S5	24K630	24K638	8m	NATM	T-6	철근	S42	24K961	24K970	9m	NATM	T-2	무근
S6	24K638	24K646	8m	NATM	T-6	철근	S43	24K970	24K979	9m	NATM	T-2	무근
S7	24K646	24K655	9m	NATM	T-6	철근	S44	24K979	24K988	9m	NATM	T-2	무근
S8	24K655	24K664	9m	NATM	T-5	무근	S45	24K988	24K997	9m	NATM	T-2	무근
S9	24K664	24K673	9m	NATM	T-5	무근	S46	24K997	25K006	9m	NATM	T-2	무근
S10	24K673	24K682	9m	NATM	T-5	무근	S47	25K006	25K015	9m	NATM	T-2	무근
S11	24K682	24K691	9m	NATM	T-4	무근	S48	25K015	25K024	9m	NATM	T-2	무근
S12	24K691	24K700	9m	NATM	T-4	무근	S49	25K024	25K033	9m	NATM	T-2	무근
S13	24K700	24K709	9m	NATM	T-4	무근	S50	25K033	25K042	9m	NATM	T-2	무근
S14	24K709	24K718	9m	NATM	T-4	무근	S51	25K042	25K051	9m	NATM	T-2	무근
S15	24K718	24K727	9m	NATM	T-4	무근	S52	25K051	25K060	9m	NATM	T-2	철근
S16	24K727	24K736	9m	NATM	T-4	무근	S53	25K060	25K069	9m	NATM	T-2	무근
S17	24K736	24K745	9m	NATM	T-4	무근	S54	25K069	25K078	9m	NATM	T-2	무근
S18	24K745	24K754	9m	NATM	T-3	무근	S55	25K078	25K087	9m	NATM	T-2	무근
S19	24K754	24K763	9m	NATM	T-3	무근	S56	25K087	25K096	9m	NATM	T-2	무근
S20	24K763	24K772	9m	NATM	T-3	무근	S57	25K096	25K105	9m	NATM	T-2	무근
S21	24K772	24K781	9m	NATM	T-3	무근	S58	25K105	25K114	9m	NATM	T-2	무근
S22	24K781	24K790	9m	NATM	T-3	무근	S59	25K114	25K123	9m	NATM	T-2	무근
S23	24K790	24K799	9m	NATM	T-3	무근	S60	25K123	25K132	9m	NATM	T-2	무근
S24	24K799	24K808	9m	NATM	T-3	무근	S61	25K132	25K141	9m	NATM	T-2	무근
S25	24K808	24K817	9m	NATM	T-3	무근	S62	25K141	25K150	9m	NATM	T-1	무근
S26	24K817	24K826	9m	NATM	T-3	무근	S63	25K150	25K159	9m	NATM	T-1	무근
S27	24K826	24K835	9m	NATM	T-3	무근	S64	25K159	25K168	9m	NATM	T-1	무근
S28	24K835	24K844	9m	NATM	T-3	무근	S65	25K168	25K177	9m	NATM	T-1	무근
S29	24K844	24K853	9m	NATM	T-3	무근	S66	25K177	25K186	9m	NATM	T-1	무근
S30	24K853	24K862	9m	NATM	T-3	무근	S67	25K186	25K195	9m	NATM	T-1	무근
S31	24K862	24K871	9m	NATM	T-3	무근	S68	25K195	25K204	9m	NATM	T-1	철근
S32	24K871	24K880	9m	NATM	T-3	무근	S69	25K204	25K213	9m	NATM	T-1	무근
S33	24K880	24K889	9m	NATM	T-2	무근	S70	25K213	25K222	9m	NATM	T-1	무근
S34	24K889	24K898	9m	NATM	T-2	무근	S71	25K222	25K231	9m	NATM	T-1	무근
S35	24K898	24K907	9m	NATM	T-2	무근	S72	25K231	25K240	9m	NATM	T-1	무근
S36	24K907	24K916	9m	NATM	T-2	철근	S73	25K240	25K249	9m	NATM	T-1	무근
S37	24K916	24K925	9m	NATM	T-2	무근	S74	25K249	25K258	9m	NATM	T-1	무근

【표 1.1.2】Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근
S75	25K258	25K267	9m	NATM	T-1	무근	S115	25K603	25K612	9m	NATM	T-1	무근
S76	25K267	25K276	9m	NATM	T-1	무근	S116	25K612	25K621	9m	NATM	T-1	무근
S77	25K276	25K285	9m	NATM	T-1	무근	S117	25K621	25K630	9m	NATM	T-1	무근
S78	25K285	25K293	8m	NATM	T-1	무근	S118	25K630	25K639	9m	NATM	T-1	무근
S79	25K293	25K299	6m	NATM	T-1	철근	S119	25K639	25K648	9m	NATM	T-1	무근
S80	25K299	25K305	6m	NATM	T-1	철근	S120	25K648	25K657	9m	NATM	T-1	무근
S81	25K305	25K313	8m	NATM	T-1	철근	S121	25K657	25K666	9m	NATM	T-1	무근
S82	25K313	25K319	6m	NATM	T-1	철근	S122	25K666	25K675	9m	NATM	T-1	무근
S83	25K319	25K325	6m	NATM	T-1	철근	S123	25K675	25K684	9m	NATM	T-1	무근
S84	25K325	25K333	8m	NATM	T-1	무근	S124	25K684	25K693	9m	NATM	T-1	무근
S85	25K333	25K342	9m	NATM	T-1	무근	S125	25K693	25K702	9m	NATM	T-1	무근
S86	25K342	25K351	9m	NATM	T-1	무근	S126	25K702	25K711	9m	NATM	T-1	무근
S87	25K351	25K360	9m	NATM	T-1	무근	S127	25K711	25K720	9m	NATM	T-1	무근
S88	25K360	25K369	9m	NATM	T-1	무근	S128	25K720	25K729	9m	NATM	T-1	무근
S89	25K369	25K378	9m	NATM	T-1	무근	S129	25K729	25K738	9m	NATM	T-1	무근
S90	25K378	25K387	9m	NATM	T-1	무근	S130	25K738	25K747	9m	NATM	T-1	무근
S91	25K387	25K396	9m	NATM	T-1	무근	S131	25K747	25K756	9m	NATM	T-1	무근
S92	25K396	25K405	9m	NATM	T-1	무근	S132	25K756	25K765	9m	NATM	T-1	무근
S93	25K405	25K414	9m	NATM	T-1	무근	S133	25K765	25K774	9m	NATM	T-1	무근
S94	25K414	25K423	9m	NATM	T-1	무근	S134	25K774	25K783	9m	NATM	T-1	무근
S95	25K423	25K432	9m	NATM	T-1	무근	S135	25K783	25K792	9m	NATM	T-1	무근
S96	25K432	25K441	9m	NATM	T-1	무근	S136	25K792	25K801	9m	NATM	T-1	무근
S97	25K441	25K450	9m	NATM	T-1	무근	S137	25K801	25K810	9m	NATM	T-1	무근
S98	25K450	25K459	9m	NATM	T-1	무근	S138	25K810	25K819	9m	NATM	T-1	무근
S99	25K459	25K468	9m	NATM	T-1	무근	S139	25K819	25K828	9m	NATM	T-2	무근
S100	25K468	25K477	9m	NATM	T-1	무근	S140	25K828	25K837	9m	NATM	T-2	무근
S101	25K477	25K486	9m	NATM	T-1	무근	S141	25K837	25K846	9m	NATM	T-2	무근
S102	25K486	25K495	9m	NATM	T-1	무근	S142	25K846	25K855	9m	NATM	T-2	무근
S103	25K495	25K504	9m	NATM	T-1	무근	S143	25K855	25K864	9m	NATM	T-2	무근
S104	25K504	25K513	9m	NATM	T-1	무근	S144	25K864	25K873	9m	NATM	T-2	무근
S105	25K513	25K522	9m	NATM	T-1	무근	S145	25K873	25K882	9m	NATM	T-2	무근
S106	25K522	25K531	9m	NATM	T-1	무근	S146	25K882	25K891	9m	NATM	T-2	무근
S107	25K531	25K540	9m	NATM	T-1	무근	S147	25K891	25K900	9m	NATM	T-2	무근
S108	25K540	25K549	9m	NATM	T-1	무근	S148	25K900	25K909	9m	NATM	T-2	무근
S109	25K549	25K558	9m	NATM	T-1	무근	S149	25K909	25K918	9m	NATM	T-2	무근
S110	25K558	25K567	9m	NATM	T-1	무근	S150	25K918	25K927	9m	NATM	T-2	무근
S111	25K567	25K576	9m	NATM	T-1	무근	S151	25K927	25K936	9m	NATM	T-2	무근
S112	25K576	25K585	9m	NATM	T-1	무근	S152	25K936	25K944	8m	NATM	T-2	무근
S113	25K585	25K594	9m	NATM	T-1	무근	S153	25K944	25K950	6m	NATM	T-2	철근
S114	25K594	25K603	9m	NATM	T-1	무근	S154	25K950	25K956	6m	NATM	T-2	철근

【표 1.1.2】Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	철근
S155	25K956	25K964	8m	NATM	T-2	철근	S195	26K308	26K317	9m	NATM	T-3	무근
S156	25K964	25K970	6m	NATM	T-2	철근	S196	26K317	26K326	9m	NATM	T-3	무근
S157	25K970	25K976	6m	NATM	T-2	철근	S197	26K326	26K335	9m	NATM	T-3	무근
S158	25K976	25K984	8m	NATM	T-2	무근	S198	26K335	26K344	9m	NATM	T-3	무근
S159	25K984	25K993	9m	NATM	T-2	무근	S199	26K344	26K353	9m	NATM	T-3	무근
S160	25K993	26K002	9m	NATM	T-2	무근	S200	26K353	26K362	9m	NATM	T-3	무근
S161	26K002	26K011	9m	NATM	T-2	무근	S201	26K362	26K371	9m	NATM	T-3	철근
S162	26K011	26K020	9m	NATM	T-2	무근	S202	26K371	26K380	9m	NATM	T-3	무근
S163	26K020	26K029	9m	NATM	T-2	무근	S203	26K380	26K389	9m	NATM	T-3	무근
S164	26K029	26K038	9m	NATM	T-2	무근	S204	26K389	26K398	9m	NATM	T-3	무근
S165	26K038	26K047	9m	NATM	T-2	무근	S205	26K398	26K407	9m	NATM	T-4	무근
S166	26K047	26K056	9m	NATM	T-2	무근	S206	26K407	26K416	9m	NATM	T-4	무근
S167	26K056	26K065	9m	NATM	T-2	무근	S207	26K416	26K425	9m	NATM	T-4	무근
S168	26K065	26K074	9m	NATM	T-2	무근	S208	26K425	26K434	9m	NATM	T-4	무근
S169	26K074	26K083	9m	NATM	T-2	무근	S209	26K434	26K443	9m	NATM	T-4	무근
S170	26K083	26K092	9m	NATM	T-2	무근	S210	26K443	26K452	9m	NATM	T-4	무근
S171	26K092	26K101	9m	NATM	T-2	무근	S211	26K452	26K461	9m	NATM	T-4	무근
S172	26K101	26K110	9m	NATM	T-2	무근	S212	26K461	26K470	9m	NATM	T-4	무근
S173	26K110	26K119	9m	NATM	T-2	무근	S213	26K470	26K479	9m	NATM	T-4	무근
S174	26K119	26K128	9m	NATM	T-2	무근	S214	26K479	26K488	9m	NATM	T-5	무근
S175	26K128	26K137	9m	NATM	T-2	무근	S215	26K488	26K497	9m	NATM	T-5	무근
S176	26K137	26K146	9m	NATM	T-2	무근	S216	26K497	26K506	9m	NATM	T-5	무근
S177	26K146	26K155	9m	NATM	T-2	무근	S217	26K506	26K515	9m	NATM	T-5	철근
S178	26K155	26K164	9m	NATM	T-2	무근	S218	26K515	26K524	9m	NATM	T-5	무근
S179	26K164	26K173	9m	NATM	T-2	무근	S219	26K524	26K533	9m	NATM	T-6	철근
S180	26K173	26K182	9m	NATM	T-2	무근	S220	26K533	26K542	9m	NATM	T-6	철근
S181	26K182	26K191	9m	NATM	T-2	무근	S221	26K542	26K551	9m	NATM	T-6	철근
S182	26K191	26K200	9m	NATM	T-2	무근	S222	26K551	26K560	9m	NATM	T-6	철근
S183	26K200	26K209	9m	NATM	T-2	무근	S223	26K560	26K569	9m	NATM	T-6	철근
S184	26K209	26K218	9m	NATM	T-2	무근	S224	26K569	26K578	9m	NATM	T-6	철근
S185	26K218	26K227	9m	NATM	T-3	철근	S225	26K578	26K587	9m	NATM	T-6	철근
S186	26K227	26K236	9m	NATM	T-3	무근	S226	26K587	26K596	9m	NATM	T-6	철근
S187	26K236	26K245	9m	NATM	T-3	무근	S227	26K596	26K605	9m	NATM	T-6	철근
S188	26K245	26K254	9m	NATM	T-3	무근	S228	26K605	26K614	9m	NATM	T-6	철근
S189	26K254	26K263	9m	NATM	T-3	무근	S229	26K614	26K623	9m	NATM	T-6	철근
S190	26K263	26K272	9m	NATM	T-3	무근	S230	26K623	26K632	9m	NATM	T-6	철근
S191	26K272	26K281	9m	NATM	T-3	무근	S231	26K632	26K640	8m	NATM	T-6	철근
S192	26K281	26K290	9m	NATM	T-3	무근	S232	26K640	26K648	8m	NATM	T-6	철근
S193	26K290	26K299	9m	NATM	T-3	무근	S233	26K648	26K652	4m	NATM	T-6	철근
S194	26K299	26K308	9m	NATM	T-3	무근							

가. 터널 주변 조사

터널은 상·하행선 분리터널이며 시점부는 Bell Mouh. 종점부는 면벽 형식의 갱문이 설치된 상태로, 상행선 구간의 갱문 및 사면, 배수 등 터널 주변부에 대해 점검을 실시하였으며 점검 결과는 다음과 같다

① 사면 상태 점검 결과

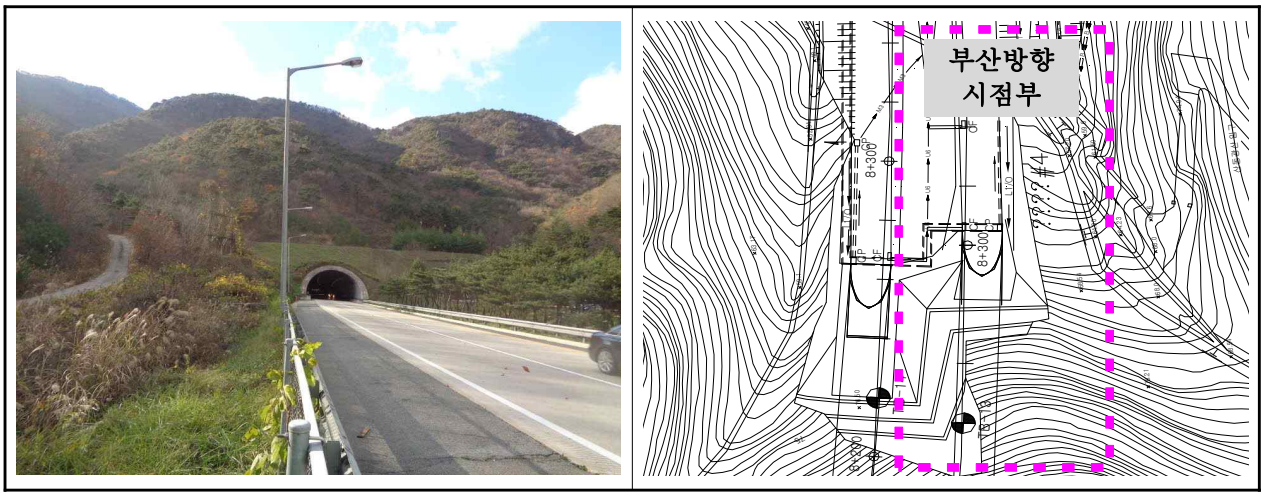
- 좌측면 터널 전면부 사면은 사면 높이가 낮고 배면부 사면은 터널 시공을 위해 깎기 후 식생이 이루어진 상태로 사면부의 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열, 집수지형 형성 등에 대해 주의 점검을 실시하였으며 점검결과, 좌측사면 일부 구간에 녹생토 유실, 터널 배면 사면부에 표층유실이 조사되었으나 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다. 사면의 부분적 녹생토 및 표층유실은 사면의 안정화 단계에서 일어날 수 있는 손상으로 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.

② 갱문 주변부 점검 결과

- 갱문 출입구 및 주변부에 대한 조사결과, 갱문 출입구는 양호한 상태로 조사되었고, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 25.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 U형 배수로가 설치되어 있어 배수로에 대한 점검을 실시하였으며 점검 결과, 균열, 이물질 퇴적 등의 손상이 조사되었다. 배수로에 발생된 손상은 일반적 손상으로 내구성 확보를 위해 균열부에 대해 주입보수를 실시하고, 이물질 퇴적 손상은 원활한 배수처리를 위해 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.3】터널 시점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	· STA.0+55m 2단 표층유실 A=10m*3m · STA.0+60~90m 2단 표층유실 A=40m*10m · STA.0+80~100m 1단 녹생토 유실 A=20m*3m	주의관찰 주의관찰 주의관찰	
낙석위험	-	-	
배수시설	· 1소단배수로 균열 L=2m (2EA)	균열보수	
수 목	-	-	
기 타	-	-	



좌측 사면 녹생토 유실



배면부 사면 표층유실



배수로 균열



배수로 이물질 퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태 점검 결과 표면유실, 배수로 균열 및 이물질 퇴적 등 일반적 손상 이외의 특이한 손상이 발생되지 않은 상태로 조사되었으나, 터널 주변부는 환경변화에 의해 예상치 못한 손상 발생 가능성이 존재하므로 주기적인 점검 및 유지관리가 이루어져야 하며 터널 주변부 발생 손상은 대부분 우수에 의한 손상으로 집수지형 형성 여부, 배수로 손상 상태 등에 대해 주의관찰이 필요하다.

2) 터널 종점부

① 사면 상태 점검 결과

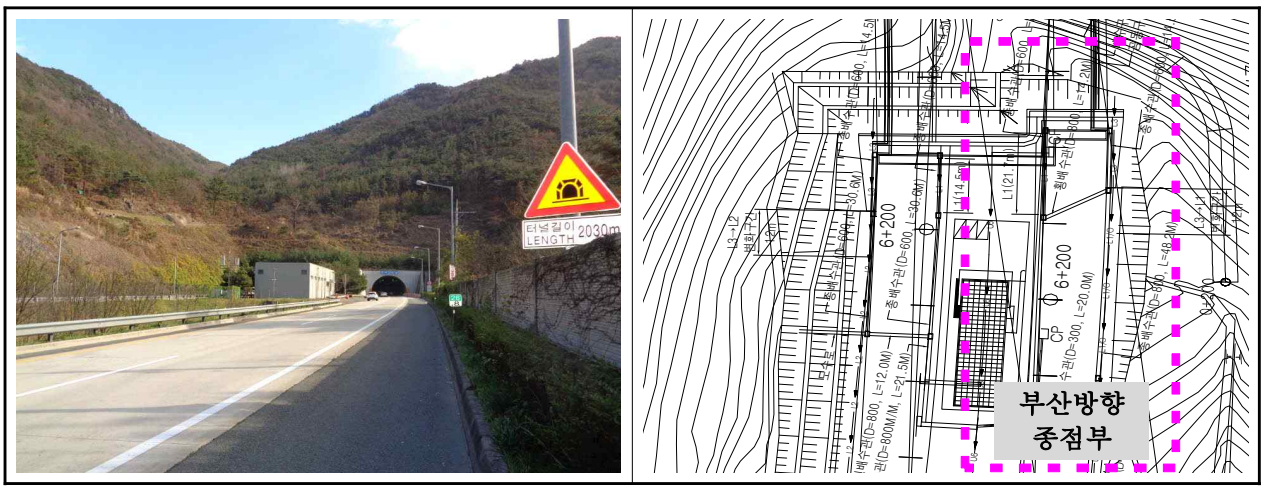
- 터널 우측면 전면부 사면은 암반 노출로 일부 뜬돌 발생 및 낙석이 발생되었으나 높이가 낮아 도로부 측으로 영향을 미치지 않는 것으로 조사되어 낙석에 대한 지속적인 주의관찰 및 유지관리가 바람직한 것으로 조사되었다. 터널 배면부는 도로가 위치하고 법면이 완만하게 위치하여 특이한 이상징후는 조사되지 않았으나, 배면부 지하수 유출 및 표층유실이 조사되었다. 지하수 유출은 배면부 지하수 형성에 의한 손상으로 현재 유도배수관을 설치하여 관리하고 있으며, 표층유실은 기 발생 손상으로 점검시 안정화가 이루어진 것으로 조사되어 주의관찰이 바람직한 것으로 조사되었다

② 갱문 주변부 점검 결과

- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

③ 배수시설 점검 결과

- 종점부 터널은 면벽식 갱문으로 갱문 배면부에 배수로가 설치되어 있으며, 배수로는 초기 이물질 퇴적이 조사되었으나 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.



【표 1.1.4】터널 종점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	· STA.0+50m 2단 표층유실 A=3m*3m	주의관찰	
낙석위험	· STA.0+30m 1단 뜬돌 및 부석 A=30m*10m	주의관찰	
배수시설	-	-	
수 목	-	-	
기 타	· STA.0+130m 1단 절리부 누수	주의관찰	



우측 사면 암노출 및 낙석발생



지하수 유출 및 유도배수로 설치



갱문상태 양호



배수로내 이물질 초기퇴적

④ 점검 의견

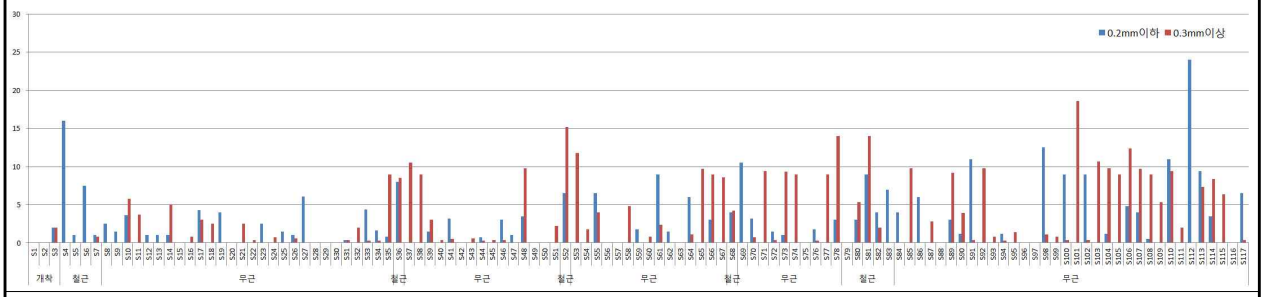
터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 사면부 표면부 손상 이외의 특이한 손상이 발생되지 않은 상태로 조사되었으나, 터널 주변부는 환경변화에 의해 예상치 못한 손상 발생 가능성이 존재하므로 주기적인 점검 및 유지관리가 이루어져야 하며 터널 주변부 발생 손상은 대부분 우수에 의한 손상으로 집수지형 형성여부, 배수로 손상 상태 등에 대해 주의관찰이 필요하다.

나. 콘크리트 라이닝

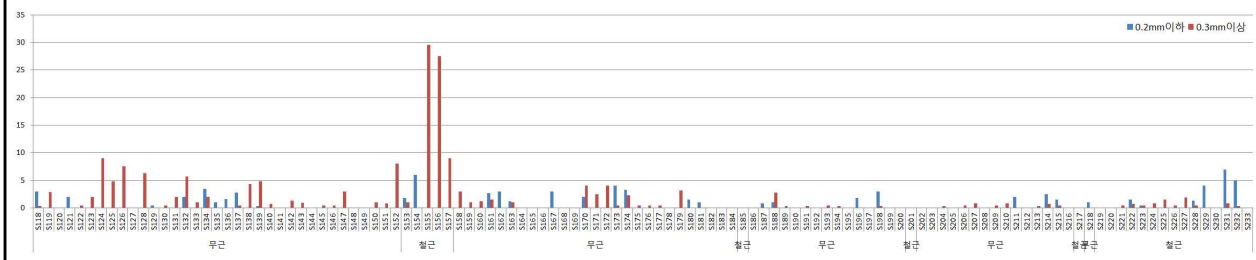
1) 균열

무척산터널(대구방향)은 중앙부(Span.No.081, 155)에 비상주차대 및 피난연결통로가 위치하고 있으며, 토질조사 보고서 검토 결과, Span.No.166～170, Span.No.207～210 구간에 약(소규모 파쇄대)가 위치하는 것으로 조사되어 터널의 지반조건, 지보타입별, 단면 형식별 균열 발생 빈도수를 비교하여 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석하였으며 분석 결과, 지형적, 구조적으로 불리한 특정 위치에 균열밀도가 집중되지 않고 다양하게 분포하여 터널에 발생된 균열은 시공시 거푸집 탈형시기, 온도 및 건조수축 등 복합적인 시공적·환경적 요인에 의해 발생된 균열로 판단된다.

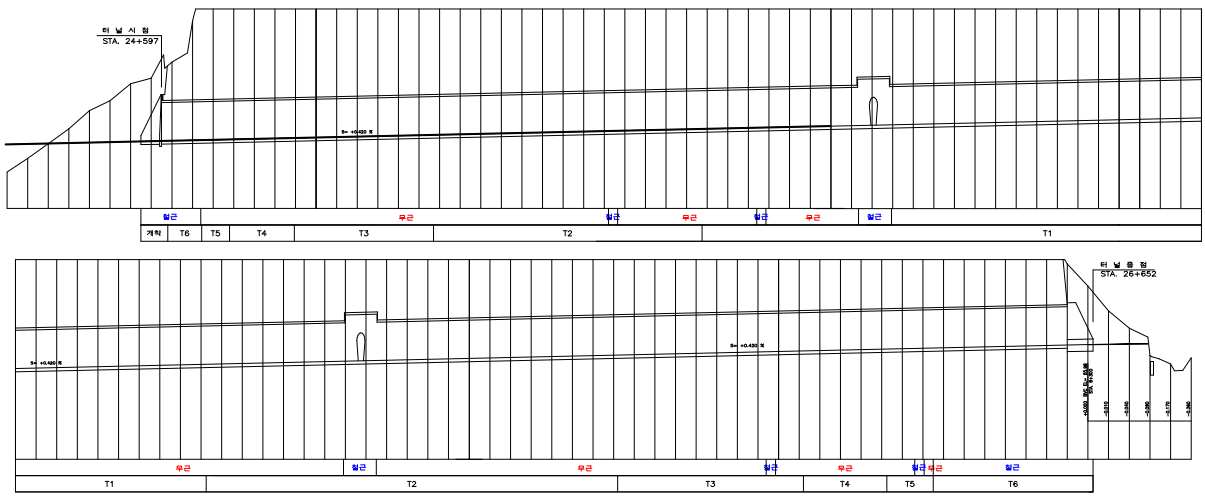
▸NATM구간 터널 전반부(S1~S117)



▸NATM구간 터널 후반부(S118~S233)



▸라이닝 및 지보패턴 구분



· 설계도서 검토결과 Span.No.023～028, Span.No.093～097에 약대(소규모 파쇄대)가 위치함

• 총 균열발생 연장을 지보패턴별로 분류한 결과 NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다.

• 비상주차대 및 피난연결통로 위치(Span.No.079～083, Span.No.1563～157)의 확폭구간, NATM부 철근 배근 구간에서는 전반적으로 균열밀도가 높지 않으며, 2개소의 Span(S155, S156)에서 균열밀도가 높게 나타났다.

• NATM 구간의 균열은 Span.No.101～112 구간에서 높게 나타났으나 확폭구간, 지반불량 구간 등 특정 위치에 균열이 집중되지 않고 임의 구간에 균열 발생 밀도가 높은 점을 고려할 때, 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 균열이 발생된 것으로 조사되었다.

• NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 확폭으로 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 지반 이완에 의한 구조적 손상보다는 시공적·환경적 요인에 의한 비구조적 손상으로 판단된다.

• 갱구부 구간의 균열은 일정 간격으로 종방향 균열이 발생되어 균열밀도가 다소 높게 나타났다.

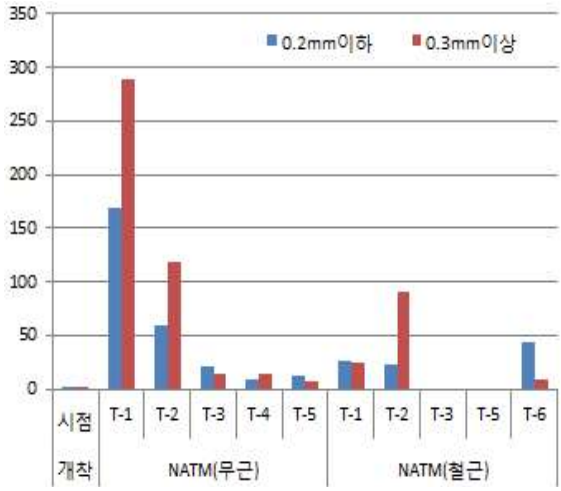
【표 1.1.5】지보패턴별 균열발생 빈도

• **지보패턴별 전체 균열발생 연장**

구분 \ 지보패턴	시점 개착	무근					철근				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-1	T-2	T-3	T-5	T-6
균열 총연장(m)	4.0	458.6	177.9	35.9	24.5	19.5	52.5	113.1	-	-	53.1
지보타입 연장(m)	25.0	637.0	610.0	297.0	144.0	63.0	41.0	50.0	18.0	9.0	161.0
단위 m당 균열연장(m)	0.2	0.7	0.3	0.1	0.2	0.3	1.3	2.3	-	-	0.3
비율(%)	0.4	48.9	18.9	3.8	2.6	2.1	5.6	12.0	-	-	5.7

• **지보패턴별 폭 0.3㎜이상 균열발생 연장**

구분 \ 지보패턴	시점 개착	무근					철근				
		T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-1	T-2	T-3	T-5	T-6
균열 총연장(m)	2.0	289.0	118.9	13.8	15.2	6.9	25.5	90.8	-	-	8.4
지보타입 연장(m)	25.0	637.0	610.0	297.0	144.0	63.0	41.0	50.0	18.0	9.0	161.0
단위 m당 균열연장(m)	0.1	0.5	0.2	0.05	0.1	0.1	0.6	1.8	-	-	0.1
비율(%)	0.4	50.6	20.8	2.4	2.7	1.2	4.5	15.9	-	-	1.5



【표 1.1.6】 전체 균열발생 현황

구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	2	2.0	1	2.0	3	4.0
NATM (무근)	T-1	89	169.6	124	289.0	213	458.6
	T-2	34	59.0	75	118.9	109	177.9
	T-3	16	22.1	15	13.8	31	35.9
	T-4	8	9.3	16	15.2	24	24.5
	T-5	11	12.6	7	6.9	18	19.5
NATM (철근)	T-1	11	27.0	12	25.5	23	52.5
	T-2	8	22.3	27	90.8	35	113.1
	T-3	-	-	-	-	-	-
	T-5	-	-	-	-	-	-
	T-6	26	44.7	16	8.4	42	53.1
총합계		205	368.6	293	570.5	498	939.1

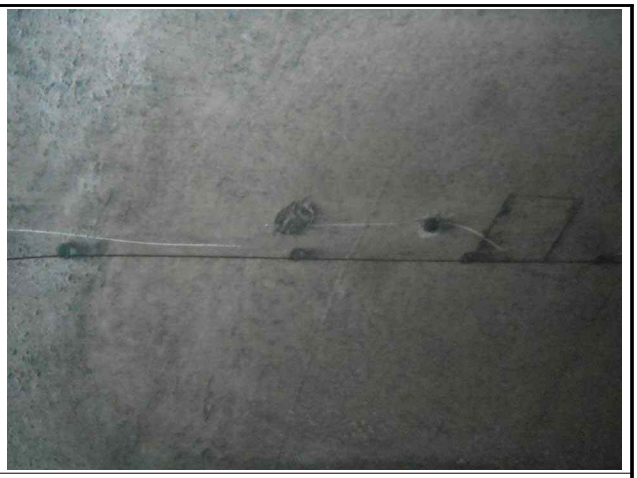
① 천단부 종방향 균열

- NATM 구간 종방향 균열은 대부분 천단부 및 Span 연단부에서 발생된 균열로 지반 및 구조적으로 불리한 특정 위치에 균열이 집중되지 않고, 균열 위치 및 형태도 터널에 일반적으로 나타나는 형태의 균열로, 지반이완 하중에 의한 손상보다는 시공초기 거푸집 탈형시기, 거푸집 제거 후 터널내 온도 및 습도, 여굴에 따른 불규칙한 라이닝 단면 등 여러 원인에 의해 초기 균열이 발생되고, 라이닝의 불연속 시공에 의한 응력 흐름 단절로 인해 균열이 확대, 발전된 형태의 손상으로 내구성 확보를 위해 균열주입보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대·진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.



천단부 종균열(0.3㎜이상)-S36(철근)	천단부 종균열(cw=0.3㎜)-S52(철근)

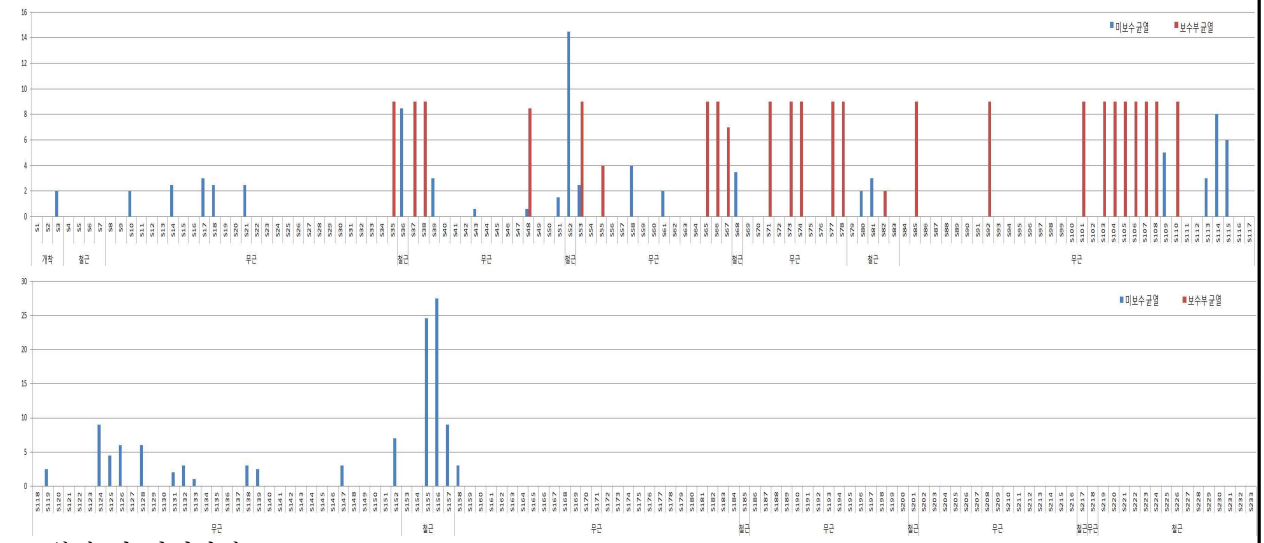
【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1)

	
천단부 종균열(cw=0.3㎜)-S14(무근)	천단부 종균열(cw=0.3㎜)-S125(무근)

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1),(계속)

● 외관조사 결과

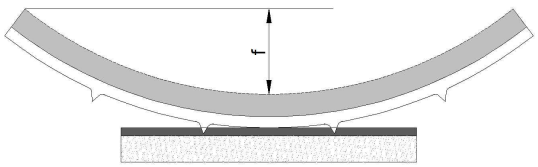
- NATM구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 82개소, 404.3m)
- 개착구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 1개소, 2.0m)



● 원인 및 관리방안

- 발생원인

① 무근콘크리트 : 현장조사 및 자료검토 결과 구조적 균열일 가능성이 낮으며 건조수축, 온도변화 등의 콘크리트의 재료적인 특성이 원인인 것으로 판단됨.

	온도변화에 따라 터널 라이닝면(사용공간쪽)은 수축하고 반대편은 변형하지 않아 라이닝 콘크리트는 아래 그림과 같이 휘어지려 하나 변형이 구속되어 힘뿐만 아니라 축방향 변형구속에 의한 구속응력이 발생되어 종균열이 발생됨.

② 철근콘크리트 : 거푸집 탈형 후 터널 내 습도, 온도, 바람 등 여러 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고 홀 및 Span연단부 등 불연속 구간에 의해 균열이 확대·진행된 손상으로 판단됨.

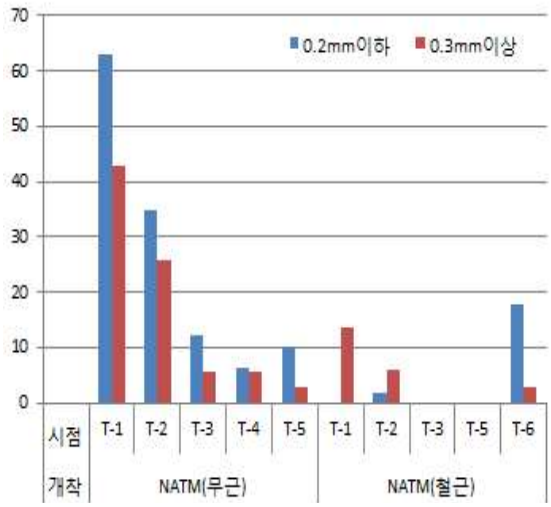
- 관리방안

① 천단부 종균열은 비구조적 균열로 구조물의 안전에는 큰 영향이 없는 것으로 판단되나 균열은 터널내 오염물질로 인해 손상확대 가능성이 있으므로 균열 폭 0.3㎜ 이상의 균열에 대해서는 주입공법을 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직함.

② 천단부 횡방향 균열

• 천단부에서 발생된 횡방향 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며, 일정한 형태가 없이 불규칙하게 발생된 균열로, 건조수축 및 대단면 터널의 콘크리트 타설시 타설 흐름부에서 발생된 비구조적 손상으로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.

【표 1.1.7】 횡방향 균열발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	-	-	-	-	-	-
NATM (무근)	T-1	56	63.1	19	42.9	75	106.0
	T-2	23	34.9	17	25.9	40	60.8
	T-3	8	12.1	3	5.5	11	17.6
	T-4	6	6.3	4	5.8	10	12.1
	T-5	9	10.1	1	3.0	10	13.1
NATM (철근)	T-1	-	-	4	13.5	4	13.5
	T-2	2	1.8	3	6.0	5	7.8
	T-3	-	-	-	-	-	-
	T-5	-	-	-	-	-	-
	T-6	8	17.7	2	3.0	10	20.7
총합계		112	146.0	53	105.6	165	251.6



보수부 횡균열(Cw=0.3㎜)-S81(철근)



천단부 횡균열(Cw=0.3㎜)-S132(무근)

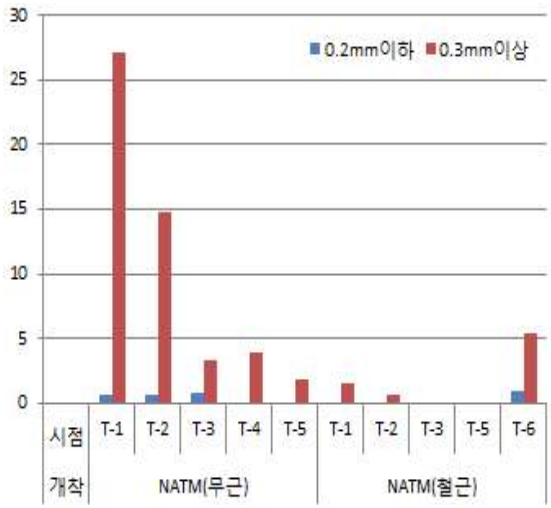
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2)

③ 측벽부 수직균열 및 망상균열

• 측벽부에서 발생된 균열은 수직형태의 균열로 발생 빈도가 낮고 균열이 짧고 연속성이 없어 온도 및 건조수축에 의해 발생된 비구조적 균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.

• 터널에 발생된 망상균열은 양생미흡에 의한 건조수축 균열로 미관 및 내구성 확보를 위해 표면보수가 바람직하다.

【표 1.1.8】측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		망상균열	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(㎡)
개착	시점	-	-	-	-	-	-
NATM (무근)	T-1	2	0.7	72	27.1	2	17.25
	T-2	2	0.7	40	14.8	2	18.30
	T-3	2	0.8	10	3.3	-	-
	T-4	-	-	10	3.9	-	-
	T-5	-	-	5	1.9	-	-
NATM (철근)	T-1	-	-	4	1.5	-	-
	T-2	-	-	2	0.7	-	-
	T-3	-	-	-	-	-	-
	T-5	-	-	-	-	-	-
	T-6	3	1.0	14	5.4	-	-
총합계		9	3.2	157	58.6	4	35.55

2) 누수 및 백태

무척산터널(부산방향)의 경우 누수 및 백태는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

3) 단면손상(철근노출)

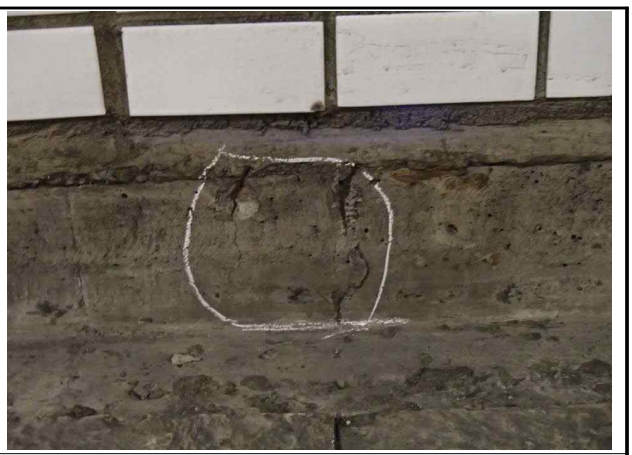
개착터널 및 철근이 배근된 NATM구간에 대해 철근노출 손상 발생여부를 점검한 결과 양호한 상태로 조사되었으나, NATM구간 일부 벽체 하단부에 공동구의 정착철근이 덮개부족에 의해 노출된 것으로 조사되어 내구성 확보 및 손상확대 방지를 위해 단면보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.9】철근노출 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량	비 고
119	좌벽체	T-1	1	0.06㎡	피복부족에 의한 철근노출
126	좌벽체	T-1	2	0.08㎡	피복부족에 의한 철근노출
168	좌벽체	T-2	1	0.04㎡	피복부족에 의한 철근노출
종합	-	-	4	0.18㎡	-



철근노출-S119, 벽체부



철근노출-S126, 벽체부

【사진 1.1.3】라이닝 외관조사 결과(3)

4) 단면손상(비철근노출)

터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리, 파손 등의 단면 손상이 조사되었다.

- 신축이음 주변부에 들뜸, 박락 등의 단면손상은 시공시 충분한 양생 미흡, 주변 온도변화에 의한 수축 팽창의 반복 등 시공 및 환경적 요인에 의한 신축이음부의 Span 연단 모서리부 손상으로 들뜸부 콘크리트 낙하시 하부 이용차량에 사고발생 가능성이 높아 이용차량의 안전성을 고려하여 들뜸부 제거가 필요하고, 구조물의 미관 및 내구성을 고려하여 손상부에 대한 단면보수 실시가 바람직하다.

  터널내 단면 손상부는 기타 손상부와 달리 재 손상 발생시 하부 이용자의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있어 정밀 주의 시공이 필요하며 보수 후, 주기적인 점검이 필요하다.

- Span No.233 천단부에 시공시 타설불량에 의한 재료분리가 조사되어 공용증가에 따라 차량의 배기가스 등에 의해 열화진행 가능성이 있어 단면보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.10】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

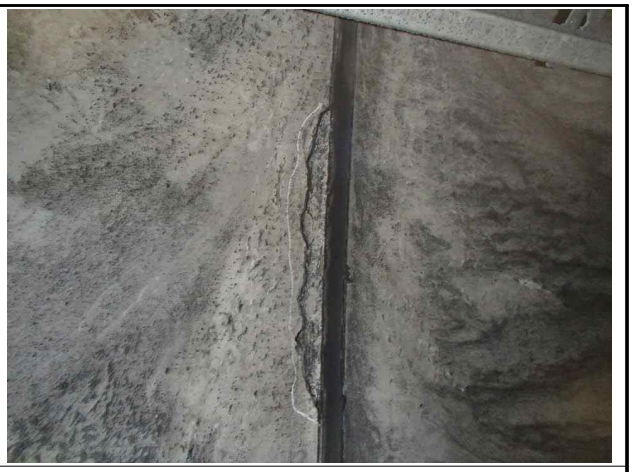
발생위치 / 손상내용	천단부	좌벽체	우벽체	합 계
들뜸(㎡/개소)	4.89/83	-	0.03/1	**4.92/84**
박락(㎡/개소)	0.49/11	0.02/1	0.02/1	**0.53/13**
재료분리(㎡/개소)	0.17/2	-	-	**0.17/2**
파손(㎡/개소)	-	0.04/1	-	**0.04/1**

【표 1.1.11】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	손상내용	Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	손상내용
S6	천단부	T-6	1	0.04	들뜸	S118	천단부	T-1	1	0.06	들뜸
S15	천단부	T-4	1	0.02	들뜸	S119	천단부	T-1	1	0.10	들뜸
S15	천단부	T-4	1	0.06	들뜸	S119	천단부	T-1	1	0.10	들뜸
S15	천단부	T-4	1	0.01	박락	S119	천단부	T-1	1	0.06	들뜸
S18	천단부	T-3	1	0.03	보수부 들뜸	S120	천단부	T-1	1	0.08	들뜸
S20	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S122	천단부	T-1	1	0.02	들뜸
S22	천단부	T-3	1	0.05	들뜸	S123	천단부	T-1	1	0.06	보수부 들뜸
S27	천단부	T-3	1	0.02	박락	S126	천단부	T-1	1	0.04	들뜸
S31	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S129	천단부	T-1	1	0.06	들뜸
S32	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S133	천단부	T-1	1	0.02	박락
S34	천단부	T-2	1	0.08	들뜸	S134	천단부	T-1	1	0.01	들뜸
S34	천단부	T-2	1	0.01	들뜸	S135	천단부	T-1	1	0.04	들뜸

【표 1.1.11】천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황(계속)

Span.No.	발생위치	지보 패턴	개소	손상물량 (㎡)	손상내용	Span.No.	발생위치	지보 패턴	개소	손상물량 (㎡)	손상내용
S36	천단부	T-2	1	0.01	들뜸	S137	천단부	T-1	1	0.02	박락
S39	천단부	T-2	1	0.20	들뜸	S139	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
S39	천단부	T-2	1	0.40	들뜸	S140	천단부	T-2	1	0.06	들뜸
S40	천단부	T-2	1	0.16	들뜸	S146	천단부	T-2	1	0.06	보수부 들뜸
S41	천단부	T-2	1	0.10	들뜸	S149	천단부	T-2	1	0.20	박락
S43	천단부	T-2	1	0.10	들뜸	S169	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
S45	천단부	T-2	1	0.03	보수부 들뜸	S174	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
S44	천단부	T-2	1	0.04	들뜸	S176	천단부	T-2	1	0.08	들뜸
S46	천단부	T-2	1	0.07	들뜸	S179	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
S50	천단부	T-2	1	0.03	들뜸	S181	천단부	T-2	1	0.06	들뜸
S50	천단부	T-2	1	0.05	들뜸	S181	천단부	T-2	1	0.06	들뜸
S53	천단부	T-2	1	0.04	들뜸	S184	천단부	T-2	1	0.01	들뜸
S58	천단부	T-2	1	0.05	들뜸	S185	천단부	T-3	1	0.02	들뜸
S59	천단부	T-2	1	0.05	들뜸	S185	천단부	T-3	1	0.08	박락
S70	천단부	T-1	1	0.08	들뜸	S185	천단부	T-3	1	0.12	들뜸
S72	천단부	T-1	1	0.08	들뜸	S187	천단부	T-3	1	0.01	박락
S73	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S188	천단부	T-3	1	0.04	들뜸
S76	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S188	천단부	T-3	1	0.07	들뜸
S81	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S191	천단부	T-3	1	0.02	들뜸
S81	천단부	T-1	1	0.15	들뜸	S199	천단부	T-3	1	0.20	들뜸
S88	천단부	T-1	1	0.04	들뜸	S202	천단부	T-3	1	0.03	보수부 들뜸
S88	천단부	T-1	1	0.06	들뜸	S204	천단부	T-3	1	0.03	들뜸
S91	천단부	T-1	1	0.10	들뜸	S206	천단부	T-4	1	0.01	들뜸
S92	천단부	T-1	1	0.08	들뜸	S221	천단부	T-6	1	0.06	들뜸
S96	천단부	T-1	1	0.03	들뜸	S225	천단부	T-6	1	0.04	박락
S96	천단부	T-1	1	0.20	들뜸	S225	천단부	T-6	1	0.04	들뜸
S99	천단부	T-1	1	0.06	들뜸	S225	천단부	T-6	1	0.07	들뜸
S99	천단부	T-1	1	0.03	들뜸	S226	천단부	T-6	1	0.02	들뜸
S100	천단부	T-1	1	0.03	들뜸	S227	천단부	T-6	1	0.05	박락
S103	천단부	T-1	1	0.01	들뜸	S227	천단부	T-6	1	0.02	박락
S103	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S230	천단부	T-6	1	0.01	들뜸
S104	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	S230	천단부	T-6	1	0.02	들뜸
S110	천단부	T-1	1	0.16	들뜸	S230	천단부	T-6	1	0.02	박락
S113	천단부	T-1	1	0.10	들뜸	S231	천단부	T-6	1	0.04	들뜸
S114	천단부	T-1	1	0.02	들뜸						
S114	천단부	T-1	1	0.02	들뜸	합 계			94	5.38	

	
신축이음부 박락-S14, 천단부	신축이음부 들뜸-S22, 어깨부
	
재료분리-S233, 어깨부	신축이음부 들뜸-S06, 벽체부

【사진 1.1.4】라이닝 외관조사 결과(4)

5) 기타(타일, 파손 손상)

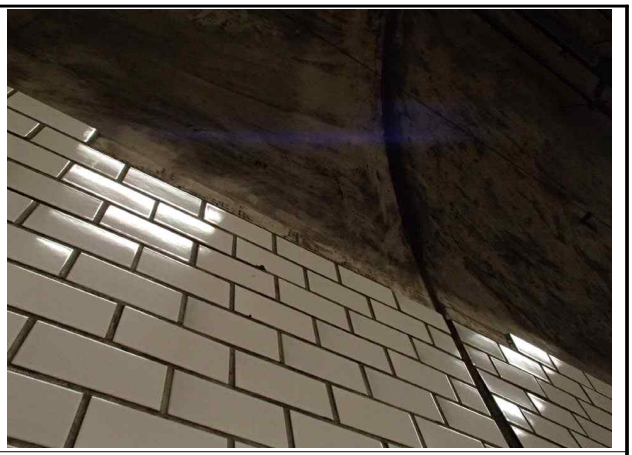
- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다. 단 S157의 비상주차대 구간은 공동구 하단부의 타일이 전체적으로 탈락되어 미관 및 터널구조물의 내구성 확보를 위해 탈락부 전구간에 대한 재설치가 바람직하다.
- 파손 손상은 안전표지판 등 부대 시설을 설치하기 위해 배관을 설치하고, 표면 덮개판을 설치하였으나 덮개판이 파손된 손상으로 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하다.

【표 1.1.12】기타 손상 발생 현황

발생위치 / 손상내용	좌벽체	우벽체	합 계
타일균열(개소)	231	195	426
타일탈락/파손(개소)	1	33	34



타일파손-S83



타일탈락-S137



타일균열-S194



파손(덮개판)-S122, 벽체부

【사진 1.1.5】기타 손상 외관조사 결과

다. 공동구

좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구는 전기설비, 통신설비 등을 공동으로 수용하여 설비 시설에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 공동구 덮개 파손, 균열, 파손 등의 손상이 조사되었다.

- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 설비 유지관리, 긴급 점검 및 복구시, 이동로로 활용할 수 있어 점검자 안전 이동 및 원활한 유지관리를 위해 보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.

- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 단면보수 실시가 바람직하다.
- 파손 손상은 공동구 덮개 설치시 발생된 손상이 공용중 온도변화에 의한 신축거동 등 환경적 요인에 의해 확대 진행되어 발생된 손상으로 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.

【표 1.1.13】공동구 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비 고
균열(0.2㎜이하),(m/개소)	온도 및 건조수축	14.6/34	주의관찰	-
균열(0.3㎜이상),(m/개소)	온도 및 건조수축	50.2/103	주입보수	-
파손(㎡/개소)	외부충격 등	0.40/1	단면보수	-
공동구 덮개 파손(개소)	외부충격 등	28	재설치	-
타일 균열(개소)	외부충격 등	26	주의관찰	-
타일 파손/탈락(개소)	외부충격 등	139	주의관찰	-



균열-S53



파손-S206

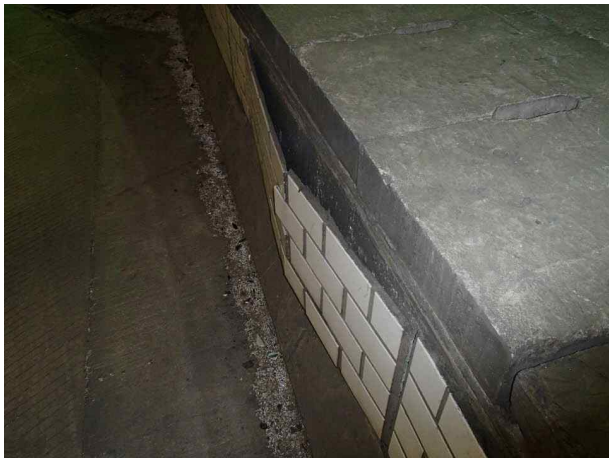
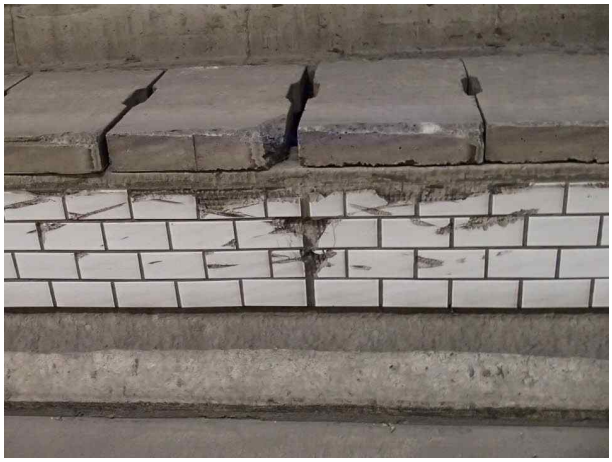


덮개파손-S74



덮개파손-S201

【사진 1.1.6】공동구 외관조사 결과

	
타일탈락-S157	타일파손-S201

【사진 1.1.6】공동구 외관조사 결과(계속)

라. 배수시설

1) 배수시스템

무척산터널(부산방향)은 배수터널로 터널 배면부 지하수가 측벽 하단 유공관(Ø100)을 통해 스파이럴 씸닥트(Ø300)관으로 유입되어 외부로 배수토록 계획되어 있으며 터널 포장면의 유입 우수는 측구를 통해 집수구에 집수되고 스파이럴 씸닥트(Ø300)관을 통해 외부로 배수토록 계획되어져 있다

2) 조사결과

배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검을 실시하고 그 외 구간은 도보에 의해 누수발생, 누수흔적 손상 조사로 배수처리 시설에 대한 건전성을 확인하였으며, 점검 결과 대부분 양호한 것으로 조사되었으나, 집수구에는 대부분 이물질 퇴적이 조사되었다

• 배수구는 좌·우 각 42개소씩 총 84개소가 설치되어 있으며, 이물질 퇴적은 포장부의 이물질이 유입되어 퇴적된 손상으로 전 구간에서 조사되었으며, 원활한 배수 처리를 위해 관리주체의 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.14】배수시설 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비고
집수구 토사퇴적(㎥/개소)	이물질 및 토사유입	16.80/84	청소실시	-

	
이물질 퇴적(토사)-S5	이물질 퇴적(토사)-S17

【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과

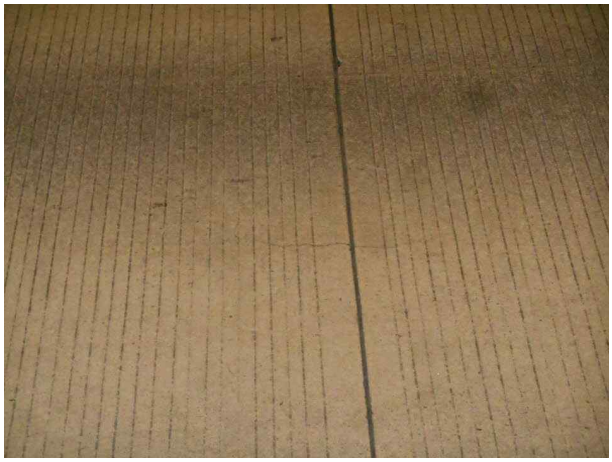
마. 도로부(포장면)

무척산터널(부산방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 미끄럼방지를 위해 횡방향 그루빙(Grooving)이 시공되어져 있고 일정 간격의 신축이음이 설치되어 있는 상태로 포장면에 대한 점검 결과, 스캘링, 스폴링, 균열 등의 손상이 조사되었다.

- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 차량통행시 요철에 의한 주행성이 저하되고 공용증가에 따라 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 포장면 균열은 초기 발생 균열이 공용증가 및 차량 하중작용에 의해 확대·진행된 손상으로 차량하중에 의해 지속적 손상확대가 우려되므로 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

【표 1.1.15】 도로부(포장면) 손상발생 현황

손상내용		원인	수량	조치방안	비고
포장부 (LMC)	균열(m/개소)	온도 및 건조수축	12.9/6	주입보수	
	스캘링(㎡/개소)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	2.83/29	주의관찰	-
	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	8.93/148	주의관찰	-
길어깨부	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	0.71/20	주의관찰	

	
균열-S154	신축줄눈부 스폴링-S202
	
스켈링-S37	신축줄눈부 스폴링-S46

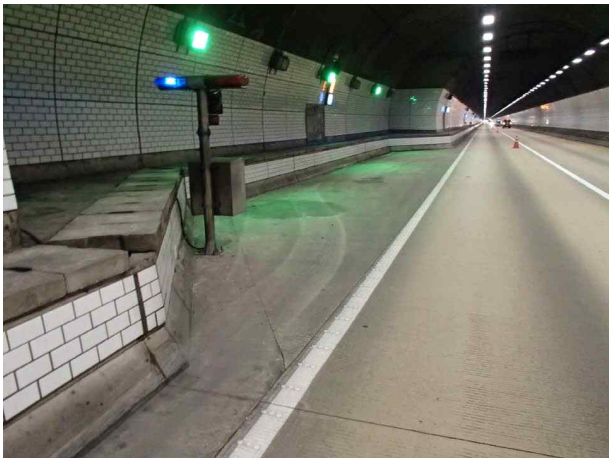
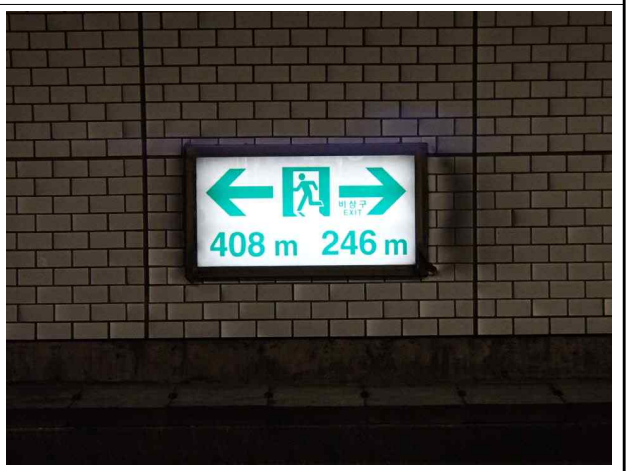
【사진 1.1.8】도로부 외관조사 결과

바. 부대시설

1) 현황

무척산터널(부산방향)은 터널 2개소에 비상주차대(Span.No.079~083, No.153~157)와 피난연결통로(Span.No.081, No.155)가 위치하고 있으며, 제트팬은 비상주차대 기준 전반부 3대, 중간부 1대. 후반부 2대로 총 6대가 설치되어 있다.

또한 터널내 사고 발생시 안전 대피 및 비상연락이 가능토록 표지판, 소화시설, 비상전화 등이 설치되어 있고 안전운전을 위해 조명시설이 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

	
피난연결통로 전경	비상주차대 전경
	
긴급전화 설치 전경	비상구 표지판 전경
	
Jet Fan 설치 전경	소화전 전경

【사진 1.1.9】부대시설 현황

2) 조사결과 및 점검의견

피난연결통로 및 제트팬, 소화전, 조명시설 및 안전표지판 등 터널내부의 부대 시설에 대한 조사 결과 지속저인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 피난연결통로 일부 구간에 시공미흡에 의한 바닥판 균열이 조사되어 내구성 확보를 위해 균열부 주입보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.16】부대시설 손상발생 현황

구 분		원인	수량	조치방안	비고
횡갱1	바닥판 균열(0.3㎜이상)	온도 및 건조수축	5.0/2	주입보수	-



균열-횡갱1 포장부



횡갱2 상태양호

【사진 1.1.10】부대시설 외관조사 결과

사. 외관조사 결과

무척산터널(부산방향)은 금회 준공 후 10년 이내 실시하는 최초 진단으로 금회 외관조사 결과는 다음과 같다.

【표 1.1.17】 외관조사 결과

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비 고
본선터널	라이닝(천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	329.4m/191개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	298.4m/109개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	36.0m/5개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	213.5m/27개소	주입보수	
		망상균열	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	35.55㎡/4개소	주입보수	
		단면손상(비철근노출)	박락/들뜸	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	5.38㎡/94개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	0.17㎡/2개소	단면보수	
	라이닝(측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	3.2m/9개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	58.6m/157개소	주입보수	
		철근노출		철근피복두께 부족	0.18㎡/4개소	방청+단면보수	
		들뜸/박락		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.11㎡/4개소	단면보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	460개소	주의관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	14.6m/34개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	50.2m/103개소	주입보수	
		파손		외부충격 등	0.40㎡/1개소	단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	28개소	재설치	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	165개소	주의관찰	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	16.80㎡/84개소	청소실시	
	도로부(포장면)	포장부(LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/차량반복하중 및 충격	2.83㎡/29개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	8.93㎡/148개소	주의관찰	
			균열	온도 및 건조수축	12.9m/6개소	주입보수	
		길어깨부	스폴링	온도변화에 의한 신축거동	0.71㎡/20개소	주의관찰	
부대시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	온도 및 건조수축	5.0m/2개소	주입보수	

1.1.4 기 점검결과와 비교

【표 1.1.18】기 점검결과와 손상물량 비교표

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	62.2m/43개소	329.4m/191개소	△	
			0.3㎜이상	134.0m/41개소	298.4m/109개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	37.0m/5개소	36.0m/5개소	-	
			0.3㎜이상	182.0m/21개소	213.5m/27개소	△	
		망상균열	0.3㎜이상	9.75㎡/2개소	35.55㎡/4개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸	3.14㎡/56개소	5.38㎡/94개소	△	
			재료분리	-	0.17㎡/2개소	△	
		제트팬 녹발생		11개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		19.8m/16개소	3.2m/9개소	▽	
		균열(0.3㎜이상)		30.5m/15개소	58.6m/157개소	△	
		철근노출		-	0.18㎡/4개소	△	
		들뜸/박락		-	0.11㎡/4개소	△	
		타일균열/파손		149개소	460개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	14.6m/34개소	△	
			0.3㎜이상	28.9m/61개소	50.2m/103개소	△	
		파손		0.30㎡/1개소	0.40㎡/1개소	-	
		공동구 덮개 파손		26개소	28개소	△	
		타일균열/파손		5개소	165개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	16.80㎡/84개소	△	
	도로부 (포장면)	스캘링		0.04㎡/3개소	2.83㎡/29개소	△	
		스폴링		4.78㎡/57개소	9.64㎡/168개소	△	
		균열		6.5m/4개소	12.9m/6개소	△	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	5.0m/2개소	△	

2014년 제트팬 정비가 실시된 것으로 확인되었으나, 공용기간 증가 및 점검장비를 이용한 근접조사에 의해 전반적으로 라이닝, 공동구, 포장부의 손상은 증가 또는 추가로 조사되었다.

1.2 내구성 조사 결과

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

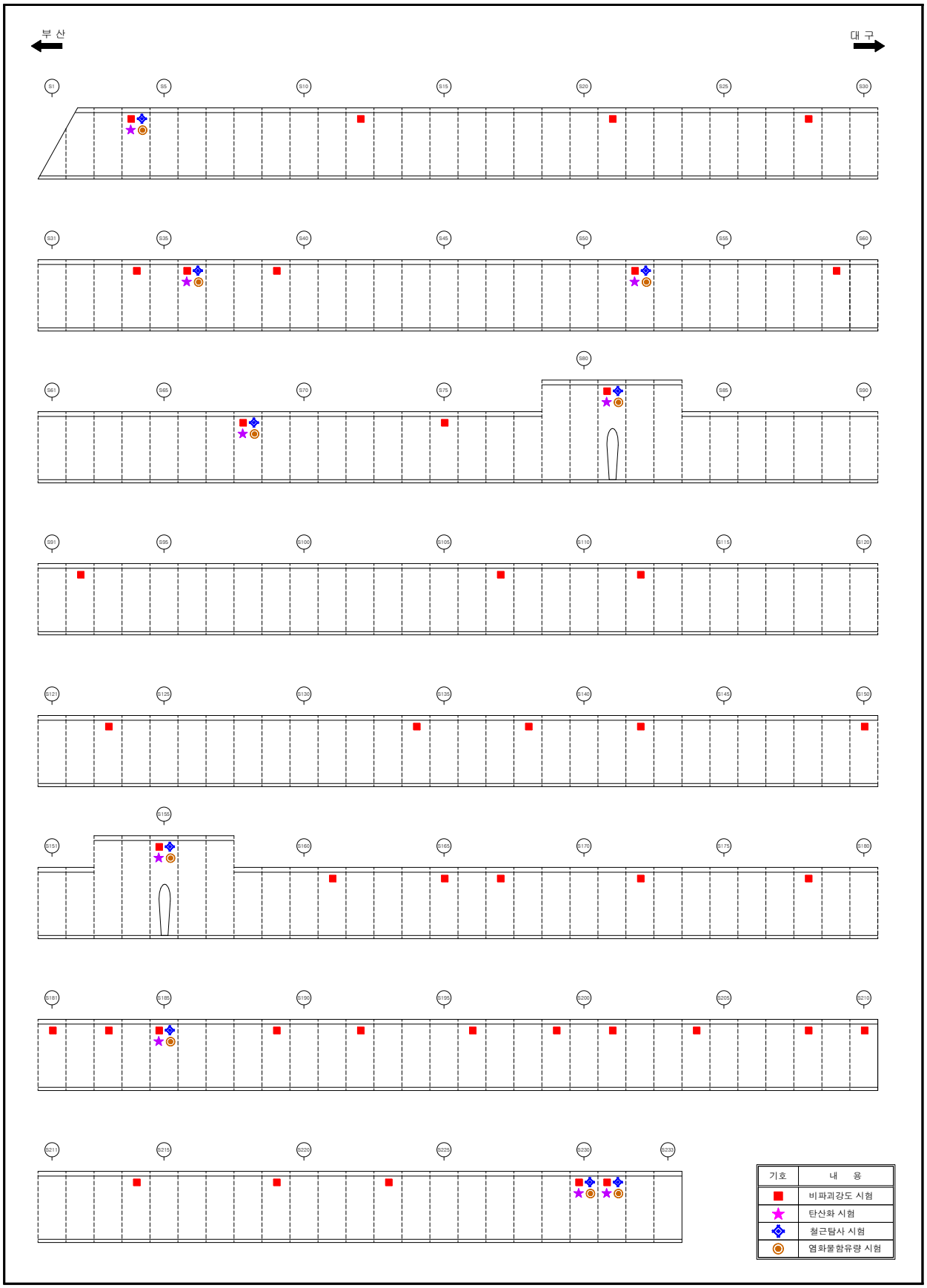
【표 1.2.1】 무척산터널(부산) 콘크리트 비파괴시험 현황

항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기준	실시	
측점분할		• 신축이음부 또는 평가단위로 분할 • 5~50m 간격	-	SPAN 구분	
단면측량		• 종 · 횡단측량 및 선형측량 • 총수량 = (총연장/200) + 1	12	종단 : 1 횡단 : 11	
비파괴 강도	반발경도법	• 총수량 = (총연장/100)×2	42	42	
	초음파법		42	42	
철근탐사시험		• 총연장 1,000미만 = 4개소 • 총연장 1,000이상 = 4개소 + 500m당 1개소 추가	8	9	
탄산화깊이 측정			8	9	
염화물함유량시험			8	9	
균열깊이 조 사		• 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	-	4	Cw=0.3㎜이상 균열



반발경도시험	초음파전달속도시험	탄산화 깊이 측정	철근탐사시험

【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경



【그림 1.2.1】 무척산터널(부산) 콘크리트 내구성조사 위치도

1.2.1 콘크리트 강도시험

무척산터널(부산)의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법 및 초음파속도법를 이용하여 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 대한 총 42개소의 비파괴강도시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

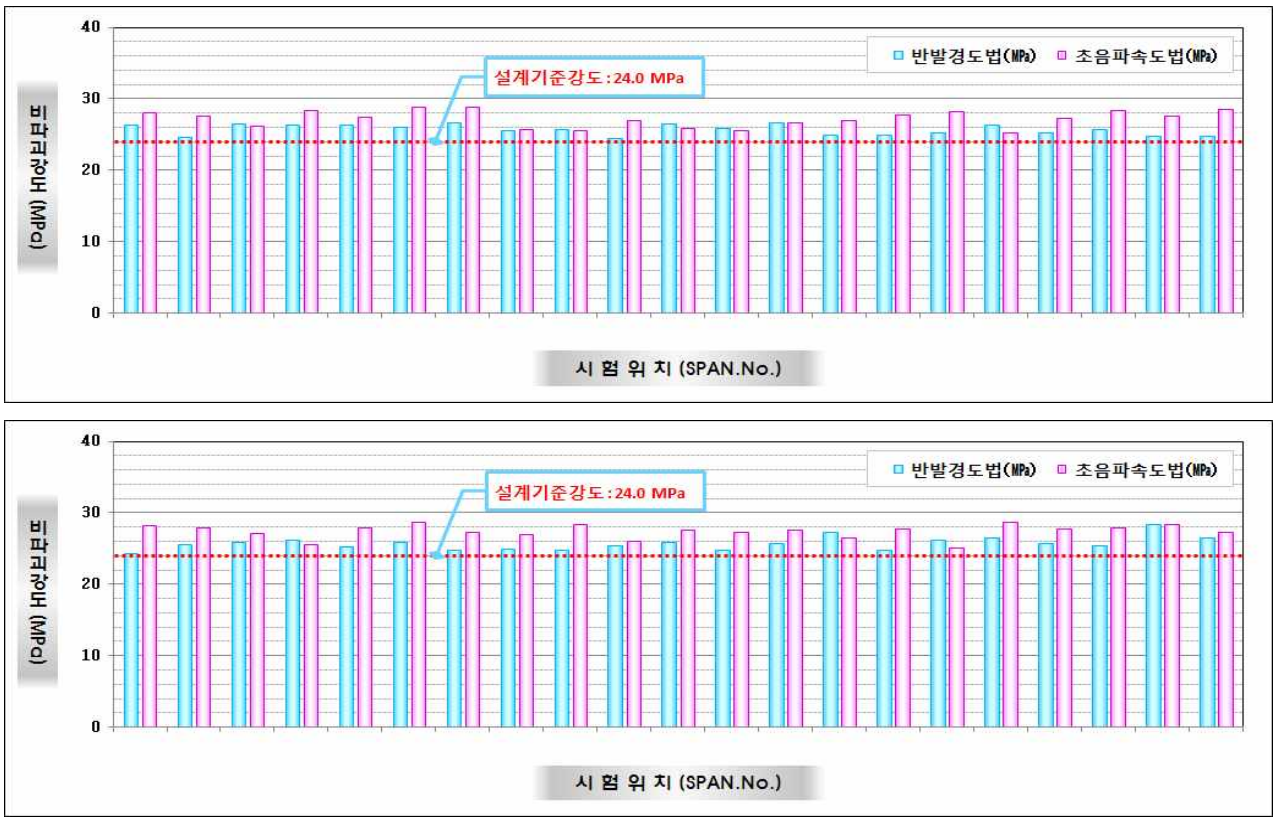
① 비파괴강도 시험결과

【표 1.2.2】비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
라이닝	SPAN. 4	46.3	4.131	25.7	27.0	26.4	26.3	29.8	28.1	24.0
	SPAN. 12	43.4	4.098	23.4	25.7	24.6	25.6	29.5	27.6	
	SPAN. 21	46.5	4.012	25.9	27.1	26.5	23.8	28.6	26.2	
	SPAN. 28	46.1	4.153	25.5	27.0	26.3	26.7	30.0	28.4	
	SPAN. 34	46.1	4.089	25.5	27.0	26.3	25.4	29.4	27.4	
	SPAN. 36	45.7	4.178	25.2	26.8	26.0	27.3	30.3	28.8	
	SPAN. 39	46.8	4.186	26.1	27.3	26.7	27.4	30.4	28.9	
	SPAN. 52	44.9	3.98	24.6	26.4	25.5	23.1	28.3	25.7	
	SPAN. 59	45.3	3.968	24.9	26.6	25.8	22.8	28.2	25.5	
	SPAN. 68	43.1	4.062	23.1	25.6	24.4	24.8	29.1	27.0	
	SPAN. 75	46.4	3.988	25.8	27.1	26.5	23.3	28.4	25.9	
	SPAN. 81	45.6	3.968	25.1	26.7	25.9	22.8	28.2	25.5	
	SPAN. 92	46.8	4.034	26.1	27.3	26.7	24.2	28.9	26.6	
	SPAN. 107	44.1	4.062	23.9	26.0	25.0	24.8	29.1	27.0	
	SPAN. 112	43.9	4.111	23.8	26.0	24.9	25.9	29.6	27.8	
	SPAN. 123	44.5	4.143	24.3	26.2	25.3	26.5	29.9	28.2	
	SPAN. 134	46.2	3.945	25.6	27.0	26.3	22.4	28.0	25.2	
	SPAN. 138	44.4	4.08	24.2	26.2	25.2	25.2	29.3	27.3	
	SPAN. 142	45.2	4.15	24.8	26.5	25.7	26.7	30.0	28.4	
	SPAN. 150	43.7	4.098	23.6	25.9	24.8	25.6	29.5	27.6	
	SPAN. 155	43.8	4.155	23.7	25.9	24.8	26.8	30.1	28.5	
	SPAN. 161	43.1	4.14	23.1	25.6	24.4	26.5	29.9	28.2	
	SPAN. 165	45.0	4.129	24.7	26.5	25.6	26.2	29.8	28.0	
	SPAN. 167	45.5	4.072	25.1	26.7	25.9	25.0	29.2	27.1	
	SPAN. 172	46.0	3.973	25.5	26.9	26.2	23.0	28.2	25.6	
	SPAN. 178	44.6	4.116	24.3	26.3	25.3	26.0	29.7	27.9	
	SPAN. 181	45.6	4.176	25.1	26.7	25.9	27.2	30.3	28.8	
	SPAN. 183	43.9	4.088	23.8	26.0	24.9	25.4	29.4	27.4	
	SPAN. 185	44	4.059	23.9	26.0	25.0	24.8	29.1	27.0	
	SPAN. 189	43.8	4.156	23.7	25.9	24.8	26.8	30.1	28.5	

【표 1.2.2】비파괴강도 시험결과(계속)

시험위치		비파괴시험		반발경도법(MPa)			초음파속도법(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_o)	초음파속도(V_d)	식①	식②	평균	식③	식④	평균	
라이닝	SPAN. 192	44.9	4.004	24.6	26.4	25.5	23.6	28.6	26.1	24.0
	SPAN. 196	45.7	4.104	25.2	26.8	26.0	25.7	29.6	27.7	
	SPAN. 199	43.8	4.082	23.7	25.9	24.8	25.2	29.3	27.3	
	SPAN. 201	45.4	4.107	25.0	26.6	25.8	25.8	29.6	27.7	
	SPAN. 204	47.9	4.029	27.0	27.8	27.4	24.1	28.8	26.5	
	SPAN. 208	43.8	4.113	23.7	25.9	24.8	25.9	29.6	27.8	
	SPAN. 210	46	3.945	25.5	26.9	26.2	22.4	28.0	25.2	
	SPAN. 214	46.4	4.181	25.8	27.1	26.5	27.3	30.3	28.8	
	SPAN. 219	45.3	4.114	24.9	26.6	25.8	25.9	29.7	27.8	
	SPAN. 223	44.7	4.128	24.4	26.3	25.4	26.2	29.8	28.0	
	SPAN. 230	49.7	4.158	28.4	28.6	28.5	26.8	30.1	28.5	
	SPAN. 231	46.6	4.091	25.9	27.2	26.6	25.4	29.4	27.4	
평 균				24.9	26.6	25.7	25.3	29.4	27.4	
표 준 편 차				1.1	0.6	0.8	1.5	0.7	1.1	
변 동 계 수				4.4	2.3	3.3	5.7	2.3	3.9	



【그림 1.2.2】평균압축강도 추정결과

- 각 시험법에 의한 비파괴강도 검토결과, 설계기준 대비 102~120%로 반발경도법 및 초음파속도법에 의한 비파괴 추정강도는 모두 100% 이상을 상회하는 값으로 분석되었다.
- 비파괴 추정식에 의해 평가된 강도는 설계기준강도의 100%이상을 만족하면 적정한 것으로 판단함(일본 국토개발기술연구센터)에 따라 전구간 강도가 설계강도에 100%이상으로 조사되어 라이닝 콘크리트 강도는 양호한 것으로 판단된다.
- 따라서, 금회 시험을 실시한 무척산터널(부산) 라이닝에 대한 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석

구 분	시험방법	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
라이닝	반발경도법	24.4~28.5	24.0	102~119
	초음파속도법	25.2~28.9	24.0	105~120

② 기 점검결과와의 비교

【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법	라이닝	24.9~29.8	24.4~28.5	24.0
검토의견		■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.		

1.2.2 철근탐사시험

철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 철근배근간격 및 피복두께 측정을 위해 시·종점 개착구간, 비상주차구간 및 제트펜 설치구간 등의 철근배근 구간의 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 총 9개소의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

【표 1.2.5】철근탐사시험 결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	SPAN. 4	횡방향철근	147	79	150	39	
		종방향철근	187	96	200	66	
	SPAN. 36	횡방향철근	134	65	125	39	
		종방향철근	195	94	200	66	
	SPAN. 52	횡방향철근	137	79	125	39	
		종방향철근	152	110	150	66	
	SPAN. 68	횡방향철근	112	47	125	39	
		종방향철근	157	65	150	66	
	SPAN. 81	횡방향철근	128	58	125	39	
		종방향철근	149	72	150	66	
	SPAN. 155	횡방향철근	130	77	125	39	
		종방향철근	155	101	150	66	
	SPAN. 185	횡방향철근	128	62	125	39	
		종방향철근	191	92	200	66	
	SPAN. 230	횡방향철근	146	65	150	39	
		종방향철근	201	89	200	66	
	SPAN. 231	횡방향철근	153	57	150	39	
		종방향철근	192	73	200	66	

【표 1.2.6】철근탐사시험 결과분석

구 분	철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	횡방향철근	112~153	47~79	125, 150	39	
	종방향철근	149~201	65~110	150, 200	66	

본 과업대상 터널에 대하여 철근탐사 수행결과, 측정된 철근배근 간격 및 피복두께는 부재별로 설계도서과 비교시 일부 구간에서 미소한 편차는 있으나 대부분의 측정 위치에서 근사한 것으로 측정되었으며, 지속적인 점검 및 관찰을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다.

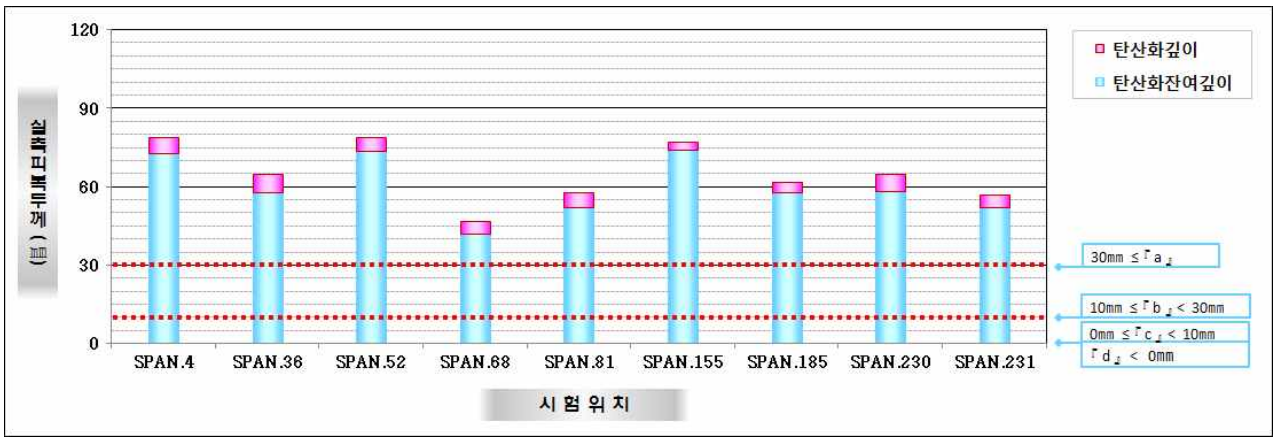
1.2.3 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 라이닝 천단 및 어깨부에 총 9개소의 탄산화 잔여깊이를 측정하였으며, 실측 최소 피복두께를 적용하기 위해 철근탐사시험과 동일한 위치를 선정하였고, 그 결과는 다음과 같다.

가. 탄산화 깊이 측정결과

【표 1.2.7】탄산화깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	실측 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
라이닝	SPAN. 4	6.4	79.0	72.6	a	2.044	1,484	100년이상
	SPAN. 36	7.2	65.0	57.8	a	2.300	789	
	SPAN. 52	5.5	79.0	73.5	a	1.757	2,012	
	SPAN. 68	4.9	47.0	42.1	a	1.565	892	
	SPAN. 81	5.7	58.0	52.3	a	1.821	1,005	
	SPAN. 155	3.1	77.0	73.9	a	0.990	6,040	
	SPAN. 185	4.3	62.0	57.7	a	1.374	2,026	
	SPAN. 230	6.6	65.0	58.4	a	2.108	941	
	SPAN. 231	5.0	57.0	52.0	a	1.597	1,264	



【그림 1.2.3】탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상으로 측정되어 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2012. 10)』의 건전성 평가 기준에 의거 "a"로 평가되었으며, 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

나. 기 진단결과와의 비교

【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교

구 분	'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	비 고
라이닝	3.0~7.0	3.1~7.2	
검토의견	■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.		

1.2.4 염화물함유량 시험

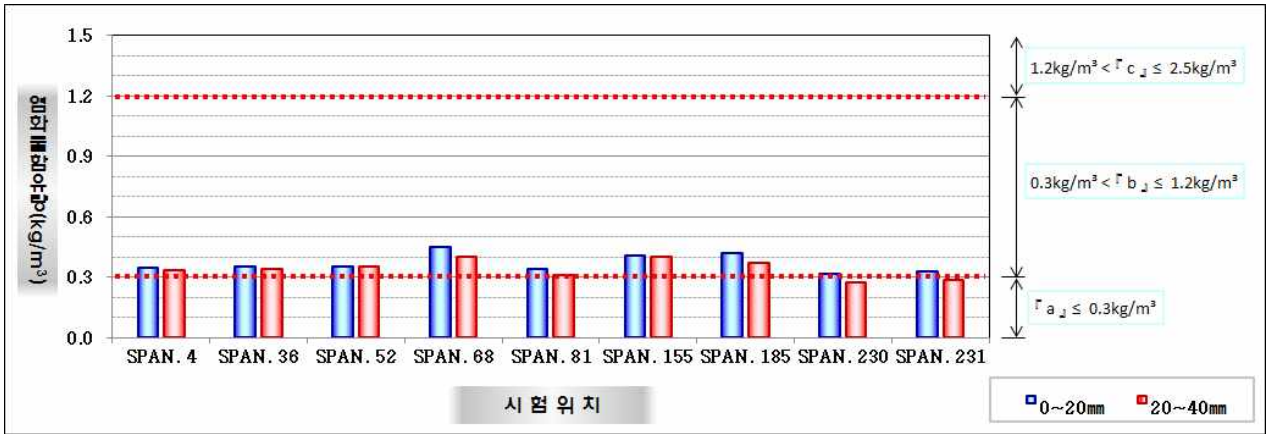
염화물함유량 시험은 라이닝 천단부 및 어깨부에 총 9개소에 대하여 깊이별 시료를 채취하여 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가

시험위치		측정 깊이	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
라이닝	SPAN. 4	0~20㎜	0.0154	0.348	b	
		20~40㎜	0.0148	0.334	b	
	SPAN. 36	0~20㎜	0.0155	0.350	b	
		20~40㎜	0.0151	0.341	b	
	SPAN. 52	0~20㎜	0.0155	0.350	b	
		20~40㎜	0.0155	0.350	b	
	SPAN. 68	0~20㎜	0.0199	0.450	b	
		20~40㎜	0.0176	0.398	b	
	SPAN. 81	0~20㎜	0.0150	0.339	b	
		20~40㎜	0.0136	0.307	b	
	SPAN. 155	0~20㎜	0.0181	0.409	b	
		20~40㎜	0.0176	0.398	b	
	SPAN. 185	0~20㎜	0.0184	0.416	b	
		20~40㎜	0.0164	0.371	b	
	SPAN. 230	0~20㎜	0.0139	0.314	b	
		20~40㎜	0.0120	0.271	a	
	SPAN. 231	0~20㎜	0.0145	0.328	b	
		20~40㎜	0.0127	0.287	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)

콘크리트 시료의 염화물함유량 평가는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)” 평가기준에 의거하여 수행하였으며, 깊이별 분석결과 염화물함유량이 낮아 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a~b”로 평가되었다.



【그림 1.2.4】염화물시험 측정결과

1.2.5 균열깊이 측정결과

외관조사시 조사된 균열폭 0.3㎜이상 균열 중 임의로 대표손상을 선정하였으며, 초음파속도를 이용하여 균열깊이 측정을 실시하였다.

【표 1.2.10】균열깊이 측정결과

시험위치		균열폭 (㎜)	전달거리 (㎜)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$sec)		균열깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	비고
				건전부 (To)	균열부 (Tc)			
라이닝	SPAN. 36	0.5	200	57.6	79.8	95.9	65	
	SPAN. 52	0.3	200	51.8	76.0	107.4	79	
	SPAN. 81	0.3	200	52.0	70.6	91.8	58	
	SPAN. 155	0.3	200	51.7	65.7	78.4	77	

균열깊이 측정결과, 측정 대상 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.

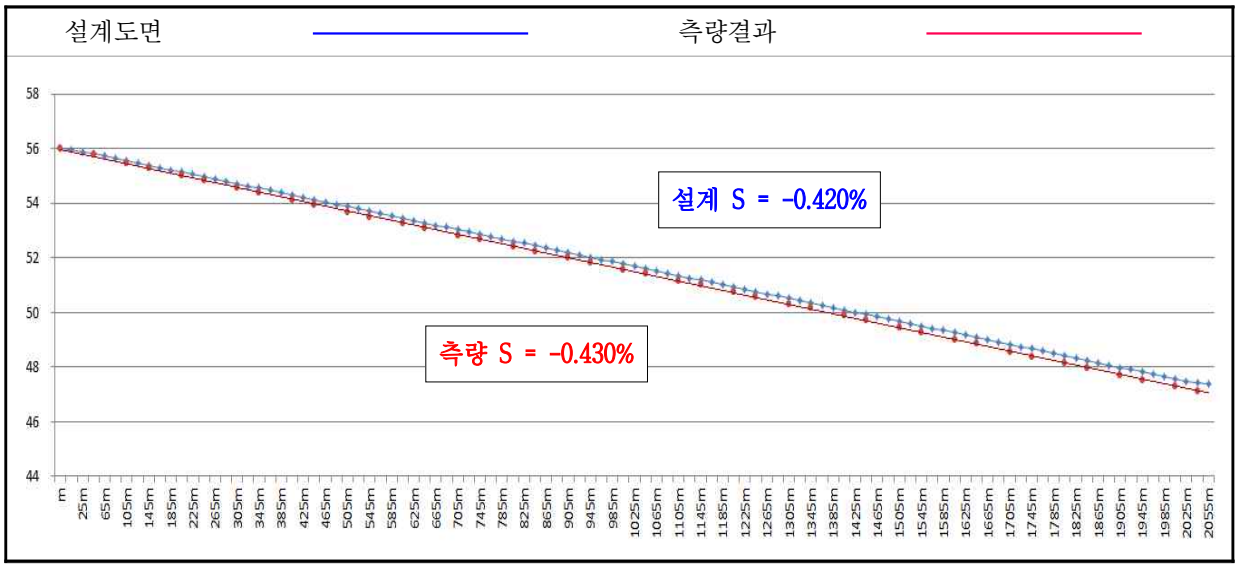
1.2.6 단면측량 결과

터널의 내공변위를 주기적으로 정밀하게 측정하여 분석하면 단면형상 변화, 변위의 진행성 여부 등을 판단할 수 있다. 정밀도가 높은 계측기를 사용하여 터널의 내공변위를 정확하게 파악하여야 하며 계측기의 위치는 변동하지 않아야 한다. 본 과업에서는 광파측량기를 이용하여 단면측량을 실시하였다.

가. 종단측량 결과

무척산터널(부산)의 종단선형은 S=-0.420%로 종단측량에 의한 종단선형 비교 결과, 실측치 종단경사가 S=0.430%로 설계치와 0.010%의 오차가 발생하였으나 전반적으로 설계치와 유사한 종단경사를 나타내고 있는 것으로 조사되었다. 설계치와 실측치의 오차(0.010%)는 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공 및 측정오차에 의해 발생된 것으로 판단된다.(종단측량은 중앙차선(2차로)을 기준으로 레벨측량을 실시함)

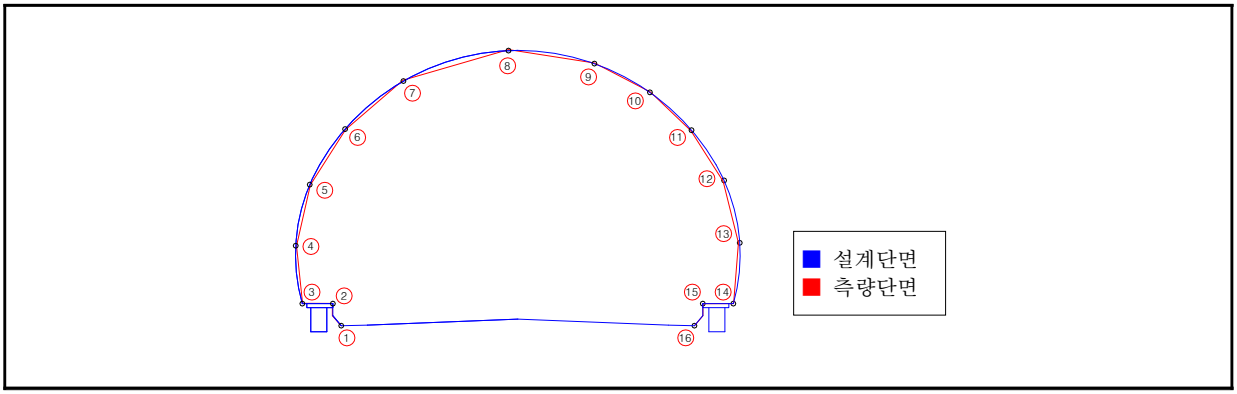
【표 1.2.11】 무척산터널(부산) 종단측량 결과

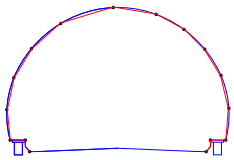
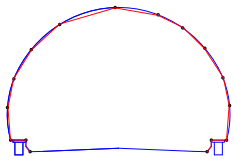
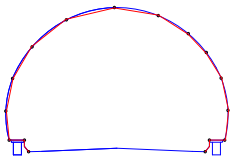


나. 내공변위 측량

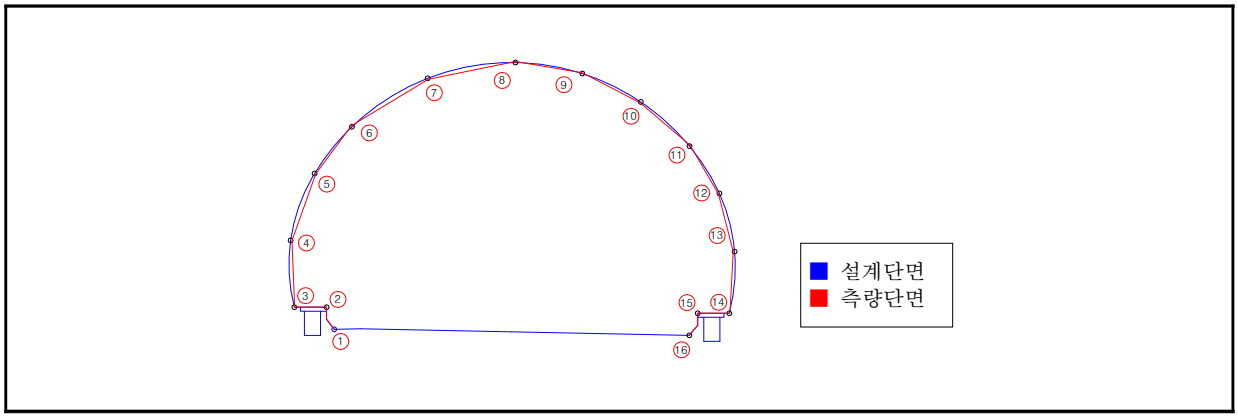
내공변위 측량 결과 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단된다.

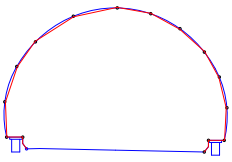
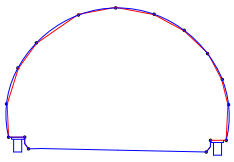
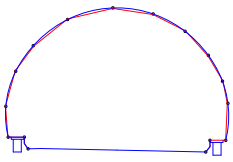
【표 1.2.12】 무척산터널(부산) 내공변위 측량 결과



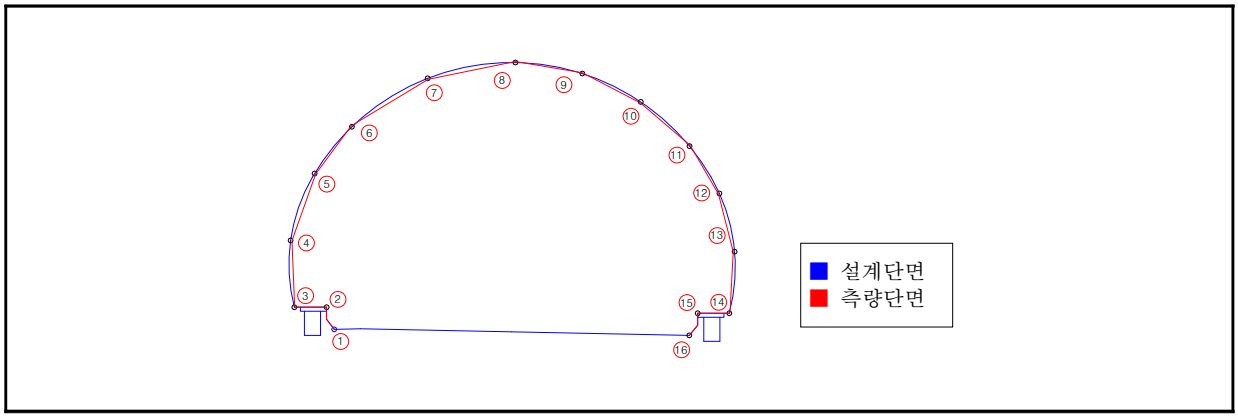
시험위치	S10				S25				S40			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	-0.1630	-4.4034	-0.1634	-4.4000	-0.1630	-4.3986	-0.1597	-4.4000	-0.1630	-4.3915	-0.1628
②	-4.6082	0.3870	-4.6211	0.3919	-4.6082	0.3870	-4.6140	0.3828	-4.6082	0.3870	-4.6134	0.3889
③	-5.3697	0.3870	-5.3627	0.3941	-5.3697	0.3870	-5.3795	0.3904	-5.3697	0.3870	-5.3666	0.3901
④	-5.5334	1.8315	-5.5127	1.8257	-5.5269	1.9379	-5.5014	1.9262	-5.5361	1.7703	-5.5061	1.7611
⑤	-5.1849	3.3548	-5.1692	3.3474	-5.2084	3.2982	-5.2241	3.3044	-5.1979	3.3238	-5.1749	3.3206
⑥	-4.3034	4.7406	-4.2900	4.7267	-4.3434	4.6942	-4.3298	4.6832	-4.2260	4.8279	-4.2478	4.8455
⑦	-2.8510	5.9380	-2.8615	5.9598	-2.9301	5.8914	-2.9375	5.9104	-2.5189	6.1154	-2.5320	6.1406
⑧	-0.2330	6.6971	-0.2336	6.7217	-0.1717	6.6971	-0.1784	6.6820	-0.1264	6.7005	-0.1337	6.6814
⑨	1.9074	6.3734	1.9107	6.3885	1.9651	6.3526	1.9595	6.3258	2.0627	6.3157	2.0715	6.3382
⑩	3.2911	5.6562	3.3046	5.6647	3.1860	5.7288	3.2001	5.7530	3.5562	5.4570	3.5449	5.4344
⑪	4.3274	4.7129	4.3114	4.6996	4.2873	4.7592	4.2701	4.7388	4.4548	4.5590	4.4486	4.5244
⑫	5.1389	3.4598	5.1152	3.4400	5.1855	3.3535	5.2094	3.3641	5.1916	3.3389	5.2222	3.3386
⑬	5.5293	1.9035	5.4970	1.9027	5.5190	2.0314	5.4948	2.0249	5.5347	1.8044	5.5644	1.8007
⑭	5.3697	0.3870	5.3768	0.3871	5.3697	0.3870	5.3644	0.3835	5.3697	0.3870	5.4068	0.3877
⑮	4.6082	0.3870	4.6101	0.3851	4.6082	0.3870	4.6056	0.3843	4.6082	0.3870	4.6101	0.3894
⑯	4.4000	-0.1630	4.4013	-0.1643	4.4000	-0.1630	4.3989	-0.1618	4.4000	-0.1630	4.4013	-0.1643
단면												

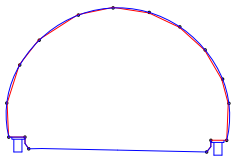
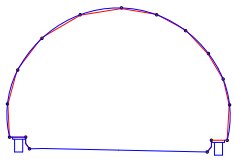
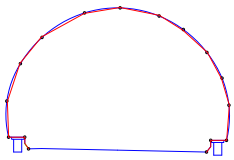
【표 1.2.12】무척산터널(부산) 내공변위 측량 결과(계속)



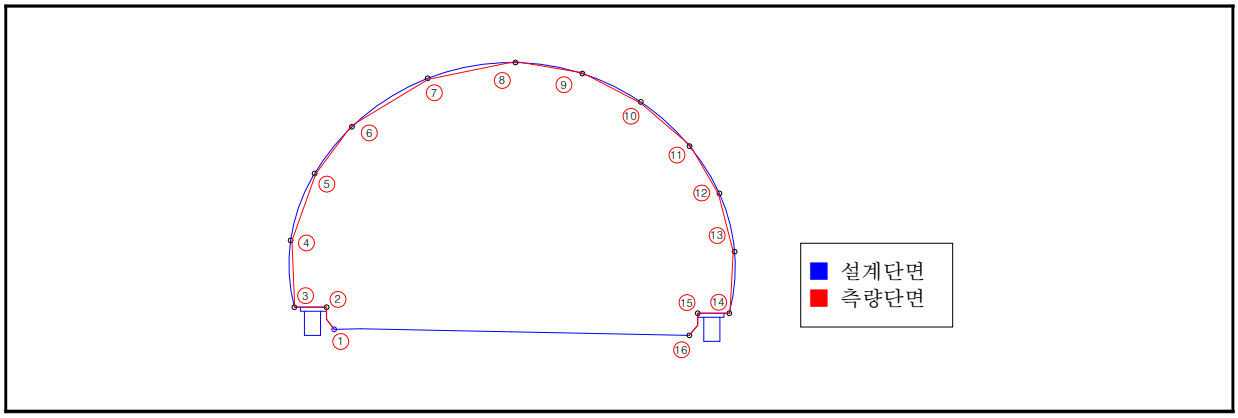
시험위치	S95				S105				S120			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.3936	0.0656	-4.4000	0.0620	-4.4005	0.0538	-4.4000	0.0620	-4.4010	0.0555
②	-4.5871	0.6120	-4.5923	0.6190	-4.5871	0.6120	-4.5894	0.6093	-4.5871	0.6120	-4.5924	0.6081
③	-5.3875	0.6120	-5.3781	0.6175	-5.3875	0.6120	-5.3851	0.6083	-5.3875	0.6120	-5.3948	0.6136
④	-5.4791	2.2754	-5.4455	2.2674	-5.4915	2.1784	-5.4566	2.1701	-5.5035	2.0603	-5.5241	2.0604
⑤	-4.8856	3.9399	-4.8564	3.9303	-4.9263	3.8712	-4.9022	3.8551	-5.0130	3.7156	-5.0379	3.7337
⑥	-3.9602	5.1023	-3.9735	5.1284	-4.0119	5.0518	-4.0021	5.0334	-4.1445	4.9160	-4.1244	4.8919
⑦	-2.0843	6.3073	-2.0704	6.2830	-1.9247	6.3673	-1.9351	6.3952	-2.4428	6.1522	-2.4477	6.1772
⑧	0.0916	6.7012	0.0909	6.7249	-0.0874	6.7013	-0.0865	6.7272	-0.2008	6.6984	-0.2044	6.6737
⑨	1.7493	6.4270	1.7516	6.4458	1.8186	6.4042	1.8128	6.3839	1.7946	6.4122	1.7898	6.3850
⑩	3.1975	5.7211	3.1854	5.6967	3.3076	5.6445	3.2971	5.6223	3.3775	5.5940	3.3944	5.6163
⑪	4.4055	4.6199	4.4231	4.6385	4.4645	4.5469	4.4803	4.5626	4.5292	4.4638	4.5051	4.4409
⑫	5.1463	3.4437	5.1234	3.4252	5.1953	3.3305	5.1654	3.3203	5.2297	3.2452	5.2533	3.2531
⑬	5.5225	1.9956	5.4879	1.9909	5.5073	2.1419	5.4743	2.1410	5.4998	2.2013	5.4682	2.1942
⑭	5.3906	0.4620	5.4069	0.4614	5.3906	0.4620	5.3853	0.4645	5.3906	0.4620	5.3849	0.4666
⑮	4.6082	0.4620	4.6082	0.4655	4.6082	0.4620	4.6062	0.4655	4.6082	0.4620	4.6112	0.4656
⑯	4.4000	-0.0880	4.3973	-0.0860	4.4000	-0.0880	4.3995	-0.0883	4.4000	-0.0880	4.3995	-0.0902
단면												

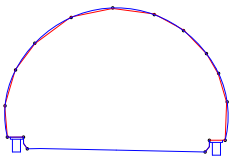
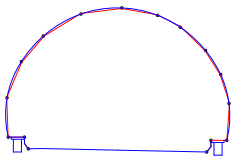
【표 1.2.12】무척산터널(부산) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S135				S145				S165			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.3920	0.0571	-4.4000	0.0620	-4.3990	0.0544	-4.4000	0.0620	-4.3901	0.0596
②	-4.5871	0.6120	-4.5832	0.6155	-4.5871	0.6120	-4.5924	0.6071	-4.5871	0.6120	-4.5823	0.6092
③	-5.3875	0.6120	-5.3980	0.6155	-5.3875	0.6120	-5.3926	0.6055	-5.3875	0.6120	-5.3857	0.6084
④	-5.4871	2.2146	-5.4722	2.2098	-5.4916	2.1768	-5.4697	2.1572	-5.4742	2.3100	-5.4476	2.2899
⑤	-4.8452	4.0059	-4.8672	4.0166	-4.9820	3.7729	-5.0098	3.7855	-4.8026	4.0736	-4.8226	4.0890
⑥	-3.8821	5.1763	-3.9025	5.1971	-3.7846	5.2648	-3.8036	5.2899	-3.7341	5.3091	-3.7595	5.3319
⑦	-1.9451	6.3599	-1.9762	6.3767	-1.8898	6.3797	-1.8799	6.3585	-1.6317	6.4635	-1.6376	6.4417
⑧	-0.2291	6.6973	-0.2261	6.7230	0.1529	6.7012	0.1522	6.6691	0.1274	6.7005	0.1240	6.7186
⑨	1.5603	6.4843	1.5403	6.4609	1.8964	6.3773	1.9062	6.3936	2.0582	6.3175	2.0683	6.3505
⑩	3.0732	5.8029	3.0563	5.7801	3.3290	5.6293	3.3403	5.6503	3.2555	5.6812	3.2375	5.6459
⑪	4.3237	4.7172	4.3019	4.7085	4.4618	4.5503	4.4404	4.5262	4.4204	4.6017	4.4442	4.6016
⑫	5.1899	3.3431	5.1482	3.3274	5.1897	3.3438	5.2026	3.3126	5.1712	3.3870	5.1398	3.3739
⑬	5.4998	2.2013	5.4661	2.1929	5.5087	2.1304	5.4879	2.1219	5.5103	2.1169	5.5326	2.1152
⑭	5.3906	0.4620	5.3905	0.4633	5.3906	0.4620	5.3862	0.4650	5.3906	0.4620	5.3971	0.4633
⑮	4.6082	0.4620	4.6048	0.4656	4.6082	0.4620	4.6104	0.4655	4.6082	0.4620	4.6104	0.4637
⑯	4.4000	-0.0880	4.3993	-0.0890	4.4000	-0.0880	4.3995	-0.0880	4.4000	-0.0880	4.4010	-0.0963
단면												

【표 1.2.12】무척산터널(부산) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S180				S195			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.3957	0.0587	-4.4000	0.0620	-4.4002	0.0586
②	-4.5871	0.6120	-4.5855	0.6142	-4.5871	0.6120	-4.5884	0.6157
③	-5.3875	0.6120	-5.3858	0.6096	-5.3875	0.6120	-5.3940	0.6137
④	-5.5012	2.0856	-5.5186	2.0899	-5.4484	2.4658	-5.4631	2.4729
⑤	-4.9806	3.7755	-4.9934	3.7828	-4.7436	4.1640	-4.7242	4.1353
⑥	-4.0297	5.0341	-4.0248	5.0147	-3.6623	5.3704	-3.6313	5.3644
⑦	-2.2285	6.2484	-2.2439	6.2723	-1.8004	6.4103	-1.8105	6.4354
⑧	-0.1716	6.6994	-0.1785	6.6727	0.2131	6.6980	0.2096	6.6725
⑨	1.8813	6.3827	1.8885	6.4121	1.9717	6.3502	1.9772	6.3743
⑩	3.3290	5.6292	3.3481	5.6518	3.0987	5.7864	3.1101	5.8177
⑪	4.4652	4.5460	4.4772	4.5308	4.3446	4.6928	4.3248	4.6776
⑫	5.0657	3.6137	5.0481	3.5895	5.0914	3.5614	5.0636	3.5533
⑬	5.4902	2.2692	5.4625	2.2543	5.4998	2.2013	5.5258	2.2067
⑭	5.3906	0.4620	5.3915	0.4655	5.3906	0.4620	5.3910	0.4635
⑮	4.6082	0.4620	4.6108	0.4655	4.6082	0.4620	4.6073	0.4637
⑯	4.4000	-0.0880	4.4031	-0.0901	4.4000	-0.0880	4.3996	-0.0890
단면								

1.2.7 현장시험 결과 요약

【표 1.2.13】현장시험 결과 요약

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="5">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(㎫)</td><td>부재</td><td>시험종류</td><td>추정강도(A)</td><td colspan="2">설계기준강도(B)</td><td>A/B×100(%)</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td>반발경도법</td><td>24.4～28.5</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>102～119</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>25.2～28.9</td><td>105～120</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="2" rowspan="2">부재</td><td rowspan="2">철근종류</td><td colspan="2">측정치</td><td colspan="2">설계치</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td></tr>
<tr><td rowspan="2">라이닝</td><td rowspan="2">천단, 어깨부</td><td>횡방향철근</td><td>112～153</td><td>47～79</td><td>125, 150</td><td>39</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>149～201</td><td>65～110</td><td>150, 200</td><td>66</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계치과 근사함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>탄산화깊이</td><td>피복두께</td><td>잔여깊이</td><td>평가</td><td>잔존수명</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>3.1～7.2</td><td>47～79</td><td>42.1～73.9</td><td>a</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">염화물
함유량</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">Cl^-(%)</td><td colspan="2">Cl^-(kg/㎥)</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.0120～0.0199</td><td colspan="2">0.271～0.450</td><td>a~b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “a～b”로 평가됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균열
깊이</td><td colspan="2">부재</td><td colspan="2">균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td colspan="2">0.3～0.5</td><td colspan="2">78.4～107.4</td><td>58～79</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
</table>

1.2.8 기 점검('13년)결과 비교

【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교

<table>
<tr><th>시험명</th><th colspan="2">시 험 위 치</th><th colspan="3">시 험 결 과</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">비파괴 강도 (㎫)</td><td>시험종류</td><td>부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>설계기준강도</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>반발경도법</td><td>라이닝</td><td>24.9～29.8</td><td>24.4～28.5</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td colspan="3">■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
■ 기 정밀점검('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">부재</td><td>'13년 정밀점검</td><td>금회('15년) 정밀안전진단</td><td>평가</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">라이닝</td><td>3.0～7.0</td><td>3.1～7.2</td><td>a</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="3">■ 탄산화 잔여깊이가 30㎜이상인 “a”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
■ 기 정밀안전진단('13년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

1.3 G.P.R 탐사 결과

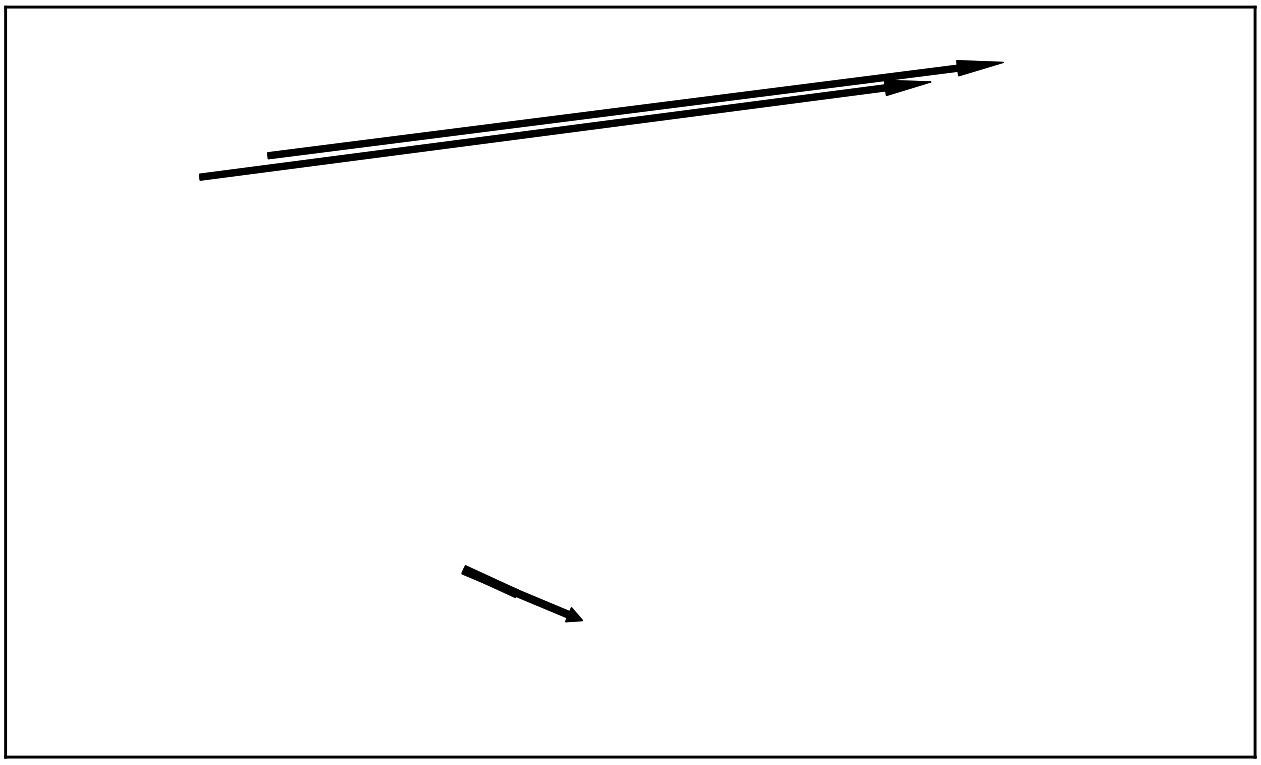
본 G.P.R 탐사는 무척산터널(부산)에 대하여 콘크리트 라이닝의 두께, 라이닝 배면의 공동 유무와 위치, 강지보공 설치현황 등을 조사하기 위하여 실시하였다. 탐사결과는 준공도서와 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며 이상반사파 구간의 두께 및 범위를 제시하여 필요시 보수, 보강 대책을 수립하는 등 터널의 유지관리에 필요한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1.3.1 조사구간 선정

무척산터널(부산) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 120m마다 횡방향 탐사를 17개소 실시하였다. 본 탐사에 적용된 안테나의 중심주파수는 약 1700㎒이다.

【표 1.3.1】 탐사구간 및 연장

구 분		탐사구간	탐사연장	비고
종측선	천단부	S1 ~ S230	2,035	
	어깨부	S1 ~ S230	2,035	1차로측
횡측선	1차선 어깨부~ 2차선 어깨부		74m / 17개소	



【그림 1.3.1】 터널 측선도

1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석

탐사결과 라이닝 콘크리트 두께분포는 지보패턴 T-1에서 220㎜~660㎜, T-2에서 60㎜~630㎜, T-3에서 160㎜~700㎜, T-4에서 200㎜~550㎜, T-5에서 230㎜~620㎜, T-6에서 180㎜~650㎜로 조사되었다. 탐사된 대부분의 구간은 설계 라이닝 두께를 만족하고 있는 것으로 분석되었으나 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

터널표준시방서(2009) 6장의 3.4.2항에 의하면 "설계두께의 1/3 혹은 100㎜중 작은 값을 초과하지 않는 범위 내의 시공오차를 허용할 수 있다." 라고 언급되어 있다. 본 터널의 설계 라이닝두께는 300㎜이며 라이닝 두께에 대한 평가시 설계두께보다 100㎜ 작은 값인 200㎜를 적용하였다.

대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 천단부 종측선 S144, S147, S177, S193에서 나타났으며 지보패턴은 T-2, T-3, T-6, 연장율은 0.14%로 조사되었다.

【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

구분		라이닝 두께(㎜)			비고
		측정치	설계치	허용치	
종측선	천단부	60 ~ 700	300	200	일부구간 두께부족
	어깨부	180 ~ 660			
횡측선		200 ~ 470			

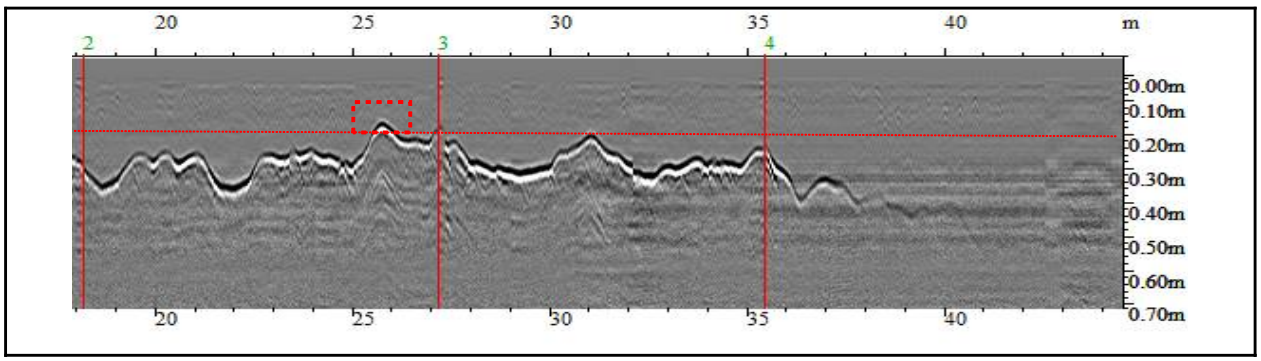
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

지보패턴		라이닝 두께(㎜)			Span No.	비고
		측정치	설계치	허용치		
T-1	종측선(천단부)	220 ~ 630	300	200	S62~S138	-
	종측선(어깨부)	320 ~ 660				
	횡측선	290 ~ 460				
T-2	종측선(천단부)	60 ~ 630	300	200	S33~S61, S139~S184	일부구간 두께부족
	종측선(어깨부)	220 ~ 620				
	횡측선	250 ~ 410				
T-3	종측선(천단부)	160 ~ 700	300	200	S18~S32, S185~S204	
	종측선(어깨부)	200 ~ 630				
	횡측선	200 ~ 440				
T-4	종측선(천단부)	230 ~ 540	300	200	S11~S17, S205~S213	-
	종측선(어깨부)	200 ~ 550				
	횡측선	420 ~ 470				
T-5	종측선(천단부)	230 ~ 620	300	200	S8~S10, S214~S218	-
	종측선(어깨부)	240 ~ 560				
T-6	종측선(천단부)	220 ~ 650	300	200	S4~S7, S219~S233	-
	종측선(어깨부)	180 ~ 510				
개착구간	-	-	300	200	S1~S3	철근보강

【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께부족구간

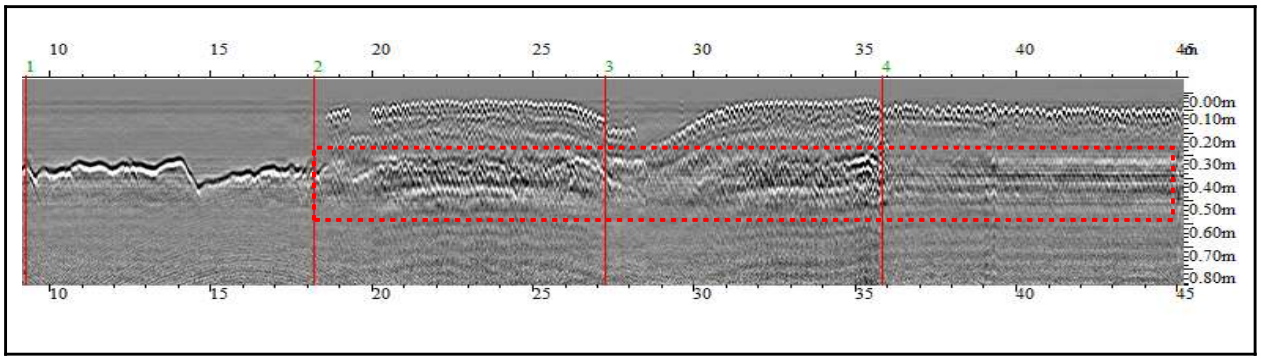
구 분	탐사연장	두께부족구간			지보패턴
		Span No.	조사연장 (m)	라이닝두께 (㎜)	
종측선(천단부)	2,035m	S144	0.6	180~470	T-2
		S147	1.8	140~470	
		S177	0.9	60~390	
		S193	1.2	160~330	T-3
종측선(어깨부)	2,035m	S5	1.4	180~320	T-6
횡측선	74m	-	-	-	-
합계	4,144m	5.9m			0.14%

다음 그림은 S193~S195 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 일부 구간의 콘크리트 라이닝이 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.



【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께부족구간(S193~S195)

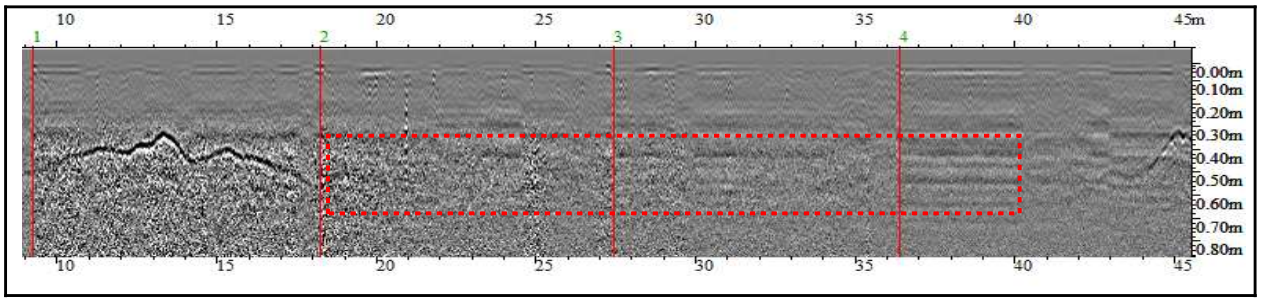
다음은 S228~S230 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 콘크리트 라이닝의 경계면이 철근의 간섭으로 인하여 나타나지 않는 것으로 탐사되었다.



【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S228~S230)

콘크리트 라이닝 내부의 경계면 즉, 라이닝과 숏크리트의 경계면은 연속적인 반사면으로 작용하여 전자파를 반사시키므로 반사 신호의 왕복도달시간으로 라이닝의 두께를 알 수 있다. 그러나 기본적으로는 라이닝과 숏크리트의 상대유전율이 4~8로 매우 비슷하기 때문에 각 경계면들이 잘 밀착되어 있고 함수율의 변화가 미미하다면 각 경계면에서의 반사강도가 크지 않아 그 경계면을 탐지하기가 매우 곤란하다.

다음은 S157~S160 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로 시공상태가 양호하여 콘크리트 라이닝과 숏크리트 경계면이 밀착되어 경계면의 반사파가 미약한 경우이다.



【그림 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S157~S160)

다음【표 1.3.5】~【표 1.3.7】은 스판별 천단부 종측선, 어깨부 종측선, 횡측선에 대한 콘크리트 라이닝 두께 측정결과이며 G.P.R 탐사 상세데이터는 부록에 첨부하였다.

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S1	-	철근배근	S2	-	철근배근
S3	-	철근배근	S4	290 ~ 440	무근
S5	260 ~ 380	무근	S6	250 ~ 370	무근
S7	280 ~ 360	무근	S8	230 ~ 380	무근
S9	270 ~ 410	무근	S10	230 ~ 360	무근
S11	250 ~ 390	무근	S12	260 ~ 450	무근
S13	300 ~ 420	무근	S14	300 ~ 440	무근
S15	320 ~ 470	무근	S16	-	철근배근
S17	370 ~ 500	무근	S18	350 ~ 430	무근
S19	310 ~ 500	무근	S20	340 ~ 450	무근
S21	310 ~ 440	무근	S22	370 ~ 500	무근
S23	260 ~ 430	무근	S24	300 ~ 480	무근
S25	330 ~ 510	무근	S26	280 ~ 460	무근
S27	330 ~ 430	무근	S28	320 ~ 410	무근
S29	270 ~ 480	무근	S30	400 ~ 550	무근
S31	270 ~ 510	무근	S32	-	철근배근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S33	250 ~ 410	무근	S34	290 ~ 430	무근
S35	280 ~ 420	무근	S36	260 ~ 410	무근
S37	300 ~ 470	무근	S38	300 ~ 460	무근
S39	310 ~ 410	무근	S40	250 ~ 360	무근
S41	310 ~ 420	무근	S42	340 ~ 450	무근
S43	320 ~ 460	무근	S44	290 ~ 430	무근
S45	290 ~ 390	무근	S46	260 ~ 460	무근
S47	380 ~ 480	무근	S48	-	철근배근
S49	480 ~ 490	무근	S50	340 ~ 450	무근
S51	310 ~ 480	무근	S52	330 ~ 450	무근
S53	290 ~ 390	무근	S54	360 ~ 460	무근
S55	300 ~ 480	무근	S56	350 ~ 500	무근
S57	420 ~ 500	무근	S58	350 ~ 500	무근
S59	350 ~ 500	무근	S60	280 ~ 470	무근
S61	240 ~ 510	무근	S62	370 ~ 460	무근
S63	330 ~ 470	무근	S64	330 ~ 450	무근
S65	390 ~ 480	무근	S66	320 ~ 480	무근
S67	320 ~ 610	무근	S68	390 ~ 600	무근
S69	400 ~ 510	무근	S70	340 ~ 450	무근
S71	360 ~ 510	무근	S72	380 ~ 550	무근
S73	340 ~ 500	무근	S74	390 ~ 530	무근
S75	360 ~ 500	무근	S76	-	철근배근
S77	-	철근배근	S78	-	철근배근
S79	-	철근배근	S80	-	철근배근
S81	360 ~ 420	무근	S82	390 ~ 540	무근
S83	350 ~ 520	무근	S84	350 ~ 580	무근
S85	280 ~ 490	무근	S86	340 ~ 530	무근
S87	250 ~ 470	무근	S88	390 ~ 520	무근
S89	360 ~ 560	무근	S90	350 ~ 550	무근
S91	380 ~ 530	무근	S92	330 ~ 500	무근
S93	350 ~ 620	무근	S94	370 ~ 580	무근
S95	460 ~ 610	무근	S96	400 ~ 520	무근
S97	410 ~ 590	무근	S98	470 ~ 600	무근
S99	380 ~ 630	무근	S100	520 ~ 570	무근
S101	530 ~ 540	무근	S102	370 ~ 580	무근
S103	380 ~ 580	무근	S104	360 ~ 510	무근
S105	410 ~ 600	무근	S106	470 ~ 580	무근
S107	390 ~ 580	무근	S108	370 ~ 560	무근
S109	370 ~ 550	무근	S110	380 ~ 570	무근
S111	390 ~ 530	무근	S112	470 ~ 540	무근
S113	390 ~ 580	무근	S114	430 ~ 530	무근
S115	380 ~ 500	무근	S116	400 ~ 520	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S117	450 ~ 520	무근	S118	360 ~ 560	무근
S119	440 ~ 550	무근	S120	320 ~ 590	무근
S121	300 ~ 570	무근	S122	290 ~ 530	무근
S123	360 ~ 600	무근	S124	350 ~ 510	무근
S125	370 ~ 610	무근	S126	290 ~ 560	무근
S127	320 ~ 490	무근	S128	220 ~ 480	무근
S129	220 ~ 390	무근	S130	220 ~ 390	무근
S131	260 ~ 420	무근	S132	300 ~ 370	무근
S133	250 ~ 440	무근	S134	240 ~ 400	무근
S135	270 ~ 370	무근	S136	280 ~ 440	무근
S137	280 ~ 410	무근	S138	220 ~ 420	무근
S139	270 ~ 400	무근	S140	200 ~ 320	무근
S141	230 ~ 350	무근	S142	220 ~ 370	무근
S143	200 ~ 370	무근	S144	180 ~ 470	무근
S145	230 ~ 540	무근	S146	490 ~ 520	무근
S147	140 ~ 470	무근	S148	280 ~ 530	무근
S149	400 ~ 530	무근	S150	-	철근배근
S151	-	철근배근	S152	-	철근배근
S153	-	철근배근	S154	-	철근배근
S155	-	무근	S156	410 ~ 560	무근
S157	310 ~ 520	무근	S158	-	무근
S159	-	무근	S160	300 ~ 490	무근
S161	-	무근	S162	430 ~ 520	무근
S163	200 ~ 470	무근	S164	430 ~ 490	무근
S165	-	철근배근	S166	300 ~ 500	무근
S167	-	무근	S168	360 ~ 490	무근
S169	310 ~ 490	무근	S170	300 ~ 390	무근
S171	280 ~ 450	무근	S172	410 ~ 550	무근
S173	230 ~ 440	무근	S174	200 ~ 410	무근
S175	220 ~ 350	무근	S176	200 ~ 290	무근
S177	60 ~ 390	무근	S178	270 ~ 570	무근
S179	420 ~ 600	무근	S180	300 ~ 540	무근
S181	-	철근배근	S182	260 ~ 520	무근
S183	290 ~ 600	무근	S184	410 ~ 630	무근
S185	350 ~ 590	무근	S186	290 ~ 520	무근
S187	380 ~ 680	무근	S188	400 ~ 650	무근
S189	330 ~ 650	무근	S190	360 ~ 700	무근
S191	240 ~ 410	무근	S192	260 ~ 400	무근
S193	160 ~ 330	무근	S194	200 ~ 300	무근
S195	230 ~ 430	무근	S196	510 ~ 570	무근
S197	-	철근배근	S198	380 ~ 580	무근
S199	310 ~ 510	무근	S200	290 ~ 540	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No	두께분포(㎜)	철근배근여부
S201	300 ~ 560	무근	S202	270 ~ 430	무근
S203	320 ~ 480	무근	S204	320 ~ 490	무근
S205	300 ~ 460	무근	S206	240 ~ 400	무근
S207	250 ~ 400	무근	S208	280 ~ 350	무근
S209	300 ~ 440	무근	S210	300 ~ 480	무근
S211	230 ~ 510	무근	S212	260 ~ 540	무근
S213	240 ~ 440	무근	S214	260 ~ 390	무근
S215	280 ~ 430	무근	S216	270 ~ 620	무근
S217	280 ~ 500	무근	S218	300 ~ 470	무근
S219	310 ~ 650	무근	S220	250 ~ 360	무근
S221	270 ~ 430	무근	S222	250 ~ 390	무근
S223	220 ~ 340	무근	S224	300 ~ 520	무근
S225	340 ~ 470	무근	S226	260 ~ 370	무근
S227	290 ~ 420	무근	S228	-	철근배근
S229	-	철근배근	S230	-	철근배근

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S1	-	철근배근	S2	-	철근배근
S3	-	철근배근	S4	200 ~ 340	무근
S5	180 ~ 320	무근	S6	200 ~ 300	무근
S7	210 ~ 360	무근	S8	300 ~ 390	무근
S9	240 ~ 350	무근	S10	260 ~ 370	무근
S11	230 ~ 330	무근	S12	200 ~ 310	무근
S13	200 ~ 330	무근	S14	230 ~ 360	무근
S15	260 ~ 410	무근	S16	-	철근배근
S17	290 ~ 420	무근	S18	240 ~ 350	무근
S19	260 ~ 380	무근	S20	290 ~ 390	무근
S21	260 ~ 330	무근	S22	310 ~ 460	무근
S23	360 ~ 450	무근	S24	310 ~ 430	무근
S25	300 ~ 470	무근	S26	310 ~ 420	무근
S27	330 ~ 520	무근	S28	360 ~ 460	무근
S29	330 ~ 490	무근	S30	-	무근
S31	290 ~ 510	무근	S32	-	철근배근
S33	280 ~ 390	무근	S34	270 ~ 430	무근
S35	320 ~ 450	무근	S36	280 ~ 380	무근
S37	350 ~ 450	무근	S38	350 ~ 520	무근
S39	370 ~ 520	무근	S40	280 ~ 430	무근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S41	280 ~ 450	무근	S42	370 ~ 480	무근
S43	370 ~ 480	무근	S44	360 ~ 420	무근
S45	340 ~ 450	무근	S46	310 ~ 450	무근
S47	360 ~ 500	무근	S48	-	철근배근
S49	370 ~ 510	무근	S50	370 ~ 430	무근
S51	400 ~ 520	무근	S52	410 ~ 540	무근
S53	410 ~ 510	무근	S54	370 ~ 530	무근
S55	450 ~ 550	무근	S56	360 ~ 460	무근
S57	400 ~ 510	무근	S58	440 ~ 520	무근
S59	390 ~ 520	무근	S60	390 ~ 520	무근
S61	380 ~ 570	무근	S62	400 ~ 540	무근
S63	420 ~ 540	무근	S64	410 ~ 510	무근
S65	490 ~ 560	무근	S66	450 ~ 560	무근
S67	470 ~ 620	무근	S68	480 ~ 550	무근
S69	420 ~ 580	무근	S70	460 ~ 570	무근
S71	400 ~ 470	무근	S72	420 ~ 570	무근
S73	400 ~ 540	무근	S74	430 ~ 530	무근
S75	450 ~ 540	무근	S76	-	철근배근
S77	-	철근배근	S78	-	철근배근
S79	-	철근배근	S80	-	철근배근
S81	340 ~ 480	무근	S82	-	무근
S83	480 ~ 550	무근	S84	390 ~ 530	무근
S85	370 ~ 580	무근	S86	400 ~ 540	무근
S87	340 ~ 490	무근	S88	480 ~ 580	무근
S89	-	무근	S90	400 ~ 650	무근
S91	360 ~ 590	무근	S92	370 ~ 530	무근
S93	460 ~ 540	무근	S94	440 ~ 590	무근
S95	-	무근	S96	-	무근
S97	500 ~ 650	무근	S98	460 ~ 600	무근
S99	520 ~ 630	무근	S100	-	무근
S101	-	무근	S102	480 ~ 540	무근
S103	520 ~ 600	무근	S104	-	무근
S105	-	무근	S106	-	무근
S107	420 ~ 570	무근	S108	430 ~ 590	무근
S109	500 ~ 590	무근	S110	480 ~ 560	무근
S111	490 ~ 600	무근	S112	-	무근
S113	460 ~ 600	무근	S114	450 ~ 560	무근
S115	490 ~ 600	무근	S116	420 ~ 600	무근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S117	440 ~ 580	무근	S118	430 ~ 610	무근
S119	380 ~ 650	무근	S120	390 ~ 630	무근
S121	440 ~ 540	무근	S122	460 ~ 660	무근
S123	420 ~ 620	무근	S124	-	무근
S125	400 ~ 550	무근	S126	-	무근
S127	320 ~ 530	무근	S128	390 ~ 560	무근
S129	350 ~ 610	무근	S130	350 ~ 490	무근
S131	380 ~ 520	무근	S132	420 ~ 570	무근
S133	460 ~ 570	무근	S134	490 ~ 570	무근
S135	510 ~ 590	무근	S136	500 ~ 620	무근
S137	390 ~ 560	무근	S138	330 ~ 500	무근
S139	360 ~ 500	무근	S140	280 ~ 440	무근
S141	420 ~ 540	무근	S142	450 ~ 540	무근
S143	340 ~ 510	무근	S144	260 ~ 510	무근
S145	400 ~ 620	무근	S146	-	무근
S147	390 ~ 600	무근	S148	370 ~ 580	무근
S149	450 ~ 550	무근	S150	-	철근배근
S151	-	철근배근	S152	-	철근배근
S153	-	철근배근	S154	-	철근배근
S155	-	무근	S156	-	무근
S157	-	무근	S158	420 ~ 510	무근
S159	-	무근	S160	-	무근
S161	440 ~ 560	무근	S162	390 ~ 510	무근
S163	-	무근	S164	-	무근
S165	-	철근배근	S166	420 ~ 510	무근
S167	-	무근	S168	360 ~ 530	무근
S169	380 ~ 530	무근	S170	350 ~ 460	무근
S171	230 ~ 530	무근	S172	270 ~ 500	무근
S173	310 ~ 480	무근	S174	220 ~ 400	무근
S175	260 ~ 490	무근	S176	250 ~ 450	무근
S177	270 ~ 530	무근	S178	230 ~ 500	무근
S179	310 ~ 540	무근	S180	380 ~ 530	무근
S181	-	철근배근	S182	320 ~ 560	무근
S183	470 ~ 570	무근	S184	440 ~ 530	무근
S185	360 ~ 510	무근	S186	320 ~ 540	무근
S187	350 ~ 520	무근	S188	220 ~ 500	무근
S189	280 ~ 560	무근	S190	390 ~ 540	무근
S191	240 ~ 520	무근	S192	220 ~ 590	무근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S193	210 ~ 340	무근	S194	290 ~ 430	무근
S195	220 ~ 480	무근	S196	320 ~ 630	무근
S197	-	철근배근	S198	330 ~ 570	무근
S199	260 ~ 560	무근	S200	270 ~ 530	무근
S201	230 ~ 470	무근	S202	280 ~ 390	무근
S203	280 ~ 420	무근	S204	200 ~ 350	무근
S205	220 ~ 390	무근	S206	320 ~ 430	무근
S207	250 ~ 380	무근	S208	300 ~ 530	무근
S209	270 ~ 470	무근	S210	310 ~ 550	무근
S211	-	무근	S212	240 ~ 500	무근
S213	260 ~ 510	무근	S214	260 ~ 440	무근
S215	240 ~ 440	무근	S216	360 ~ 560	무근
S217	280 ~ 470	무근	S218	250 ~ 500	무근
S219	280 ~ 510	무근	S220	230 ~ 450	무근
S221	320 ~ 430	무근	S222	310 ~ 430	무근
S223	400 ~ 480	무근	S224	490 ~ 510	무근
S225	350 ~ 480	무근	S226	200 ~ 320	무근
S227	270 ~ 400	무근	S228	-	철근배근
S229	-	철근배근	S230	-	철근배근

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선)

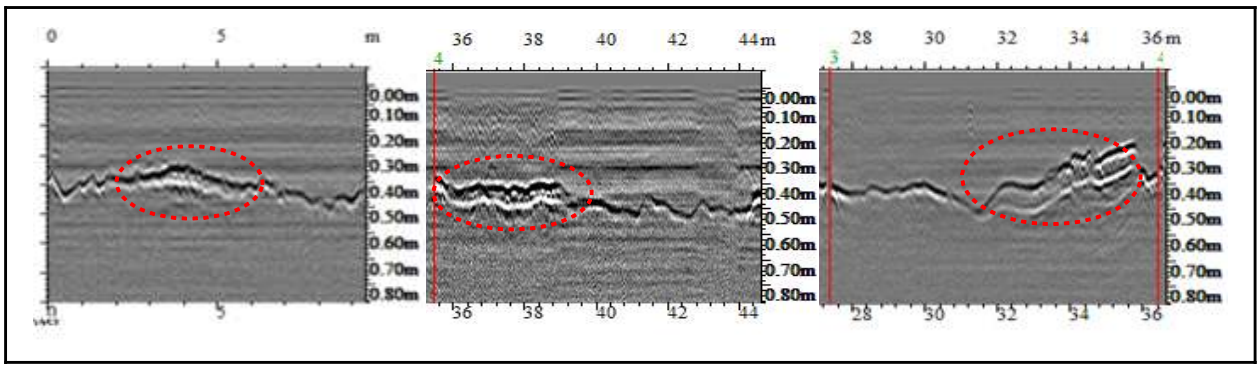
Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부	Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부
S1(1.0m)	-	철근배근	S3(23.0m)	-	철근배근
S21(181.0m)	290 ~ 440	무근	S38(335.0m)	290 ~ 330	무근
S56(492.0m)	300 ~ 370	무근	S73(649.0m)	310 ~ 350	무근
S80(706.0m)	-	철근배근	S93(811.0m)	290 ~ 350	무근
S111(973.0m)	300 ~ 460	무근	S118(1139.0m)	340 ~ 420	무근
S139(1292.0m)	250 ~ 400	무근	S154(1355.0m)	-	철근배근
S172(1511.0m)	250 ~ 410	무근	S190(1674.0m)	200 ~ 380	무근
S207(1821.0m)	420 ~ 470	무근	S224(1980.0m)	-	철근배근
S229(2021.0m)	-	철근배근			

※ 철근배근 구간에서는 철근간섭, 시공상 양호하여 라이닝과 숏크리트의 밀착으로 경계면의 반사파가 미약한 경우 "-" 표시함

1.3.3 이상반사파 탐사구간

과업대상구간에 대한 분석결과 특정 구간에서 이상반사파가 탐사되었으며, 탐사된 이상반사파는 심도 및 이상반사파의 형상으로 판단할 때 콘크리트 라이닝과 숏크리트 사이의 경계부에서 발생된 들뜸현상으로 판단된다.

다음은 S51, S104, S128구간 천단부에 대한 종측선 탐사결과이며 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~90㎜ 두께, 10m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.24%로 조사되었다. 경계부 들뜸으로 추정되는 구간에서 균열 집중 등의 연관 문제점은 관찰되지 않으며 현 상태에서 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다. 이상반사파가 탐지된 위치는 G.P.R 탐사결과 부록에 도식화하여 수록하였다.



【그림 1.3.5】이상반사파 탐사결과(S51, S108, S128)

【표 1.3.8】이상반사파 탐사구간

구 분	탐사연장	이상반사파 탐사구간		지보패턴
		Span No.	조사연장	
종측선(천단부)	2,035m	S51	2.6m	T-2
		S104	3.2m	T-1
		S128	4.2m	
종측선(어깨부)	2,035m	-	-	
횡측선	74m	-	-	
합계	**4,144m**	**10.0m**		**0.24%**

1.3.4 강지보공

준공설계도상 강지보공은 지보패턴 T-4, T-5, T-6구간에 시공되어 있으며, 아래 표에서와 같이 강지보공이 설치된 구간은 연장대비 18.35%이다.

탐사결과 강지보재는 설계간격과 비교하였을 경우 측정된 구간에서는 대부분 설계치를 만

족하는 결과를 나타내었다. 준공도상 강지보공이 시공되었으나 실측결과 탐사되지 않은 구간은 철근 및 와이어메쉬의 간섭, 유전율 및 조사여건에 의해 반사파가 미약하여 확인이 곤란하였다.

【표 1.3.9】강지보공 탐사구간

지보패턴	Span No.	준공도		강지보공탐사(m)		비고
		연장(m)	연장비(%)	설계간격	탐사간격	
T-4	S11~S17	63	3.07	1.5	0.88~1.50	
	S205~S213	81	3.94	1.5	1.11~1.57	
T-5	S8~S10	27	1.31	1.2	0.80~1.11	
	S214~S218	45	2.19	1.2	0.86~1.20	
T-6	S4~S7	33	1.61	0.6	0.47~0.70	
	S219~S233	128	6.23	0.6	0.53~0.66	
합계		377	18.35	-		

1.3.5 G.P.R 탐사결과

본 터널에 대한 G.P.R 탐사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 콘크리트 라이닝 두께는 탐사대비연장율 99.86%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 60㎜~700㎜, 어깨부 종측선에서 180㎜~660㎜, 횡측선에서 200㎜~470㎜로 나타났으며 천단부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

2) 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 S144, S147, S177, S193에서 나타났으며 연장율은 0.14%로 조사되었다.

3) 이상반사파 탐사결과 S51, S104, S128구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~90㎜ 두께, 10m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.24%로 조사되었다.

4) 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.86%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

제 2장 시설물의 상태평가

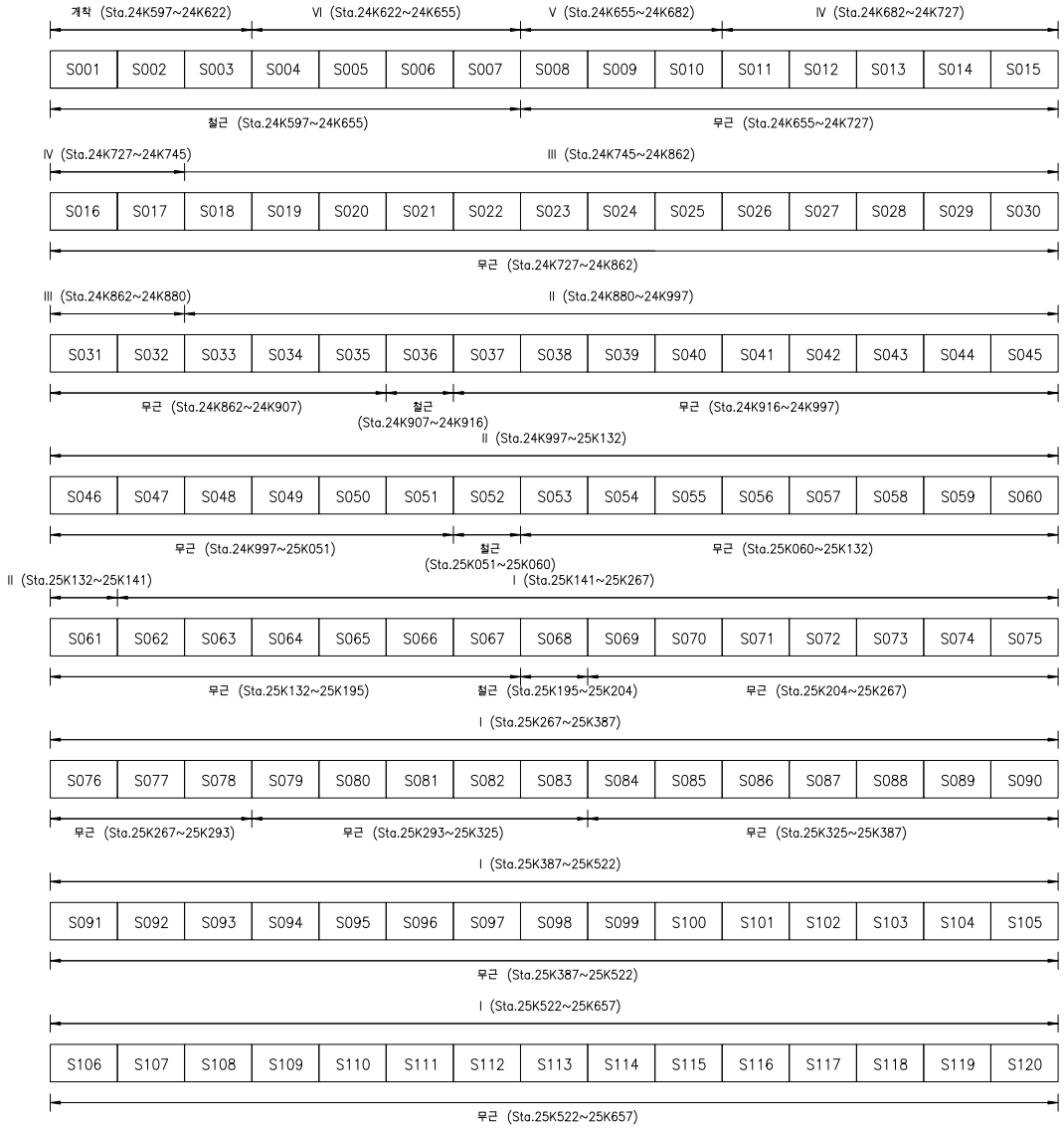
2.1 구간분할

2.2 상태평가 결과

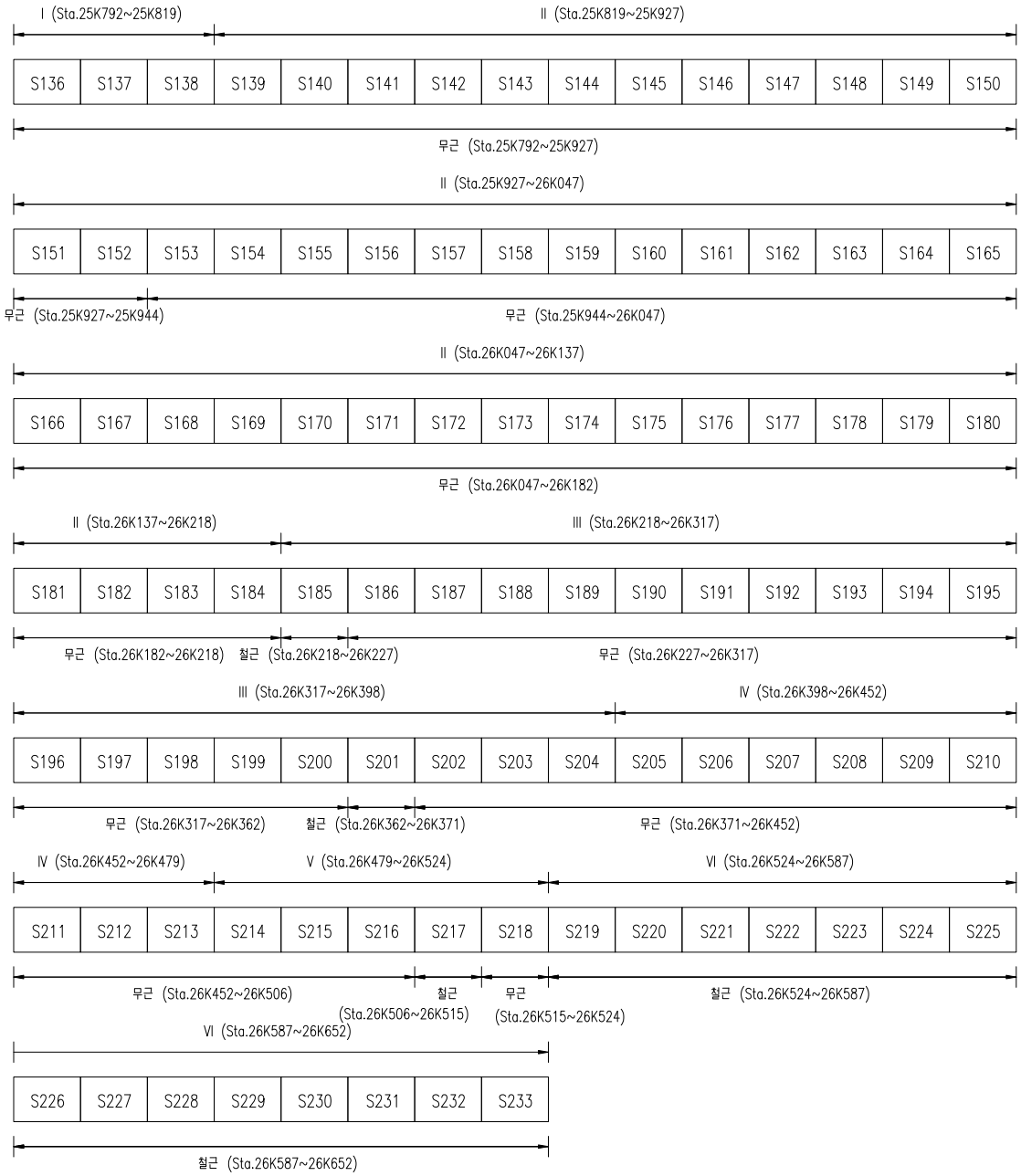
제 2장 시설물의 상태평가

2.1 구간분할

정밀안전진단을 위한 외관조사, 각종 내구성조사 및 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위해서는 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 무척산터널(부산)은 NATM 형식의 터널로서 233 Span으로 시공되었으며, 철근배근 구간과 무근 구간, 부가시설물에 대한 연장비를 고려하여 상태평가를 진행하였으며, 구조물의 상태평가를 위한 구간분할 현황은 다음과 같다.



【그림 2.1.1】Span별 시공현황 및 구간분할(부산)



【그림 2.1.1】Span별 시공현황 및 구간분할(부산, 계속)

2.2 상태평가 결과

2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S1	개착	-	a	-	a	-	-	a	
S2	개착	-	a	-	a	-	-	a	
S3	개착	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S4	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S5	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S6	철근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S7	철근	0.2~2.0	e	-	a	-	-	a	
S8	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S9	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S10	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S11	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S12	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S13	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S14	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S15	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S16	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S17	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S18	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S19	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S20	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S21	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S22	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S23	무근	0.1	b	-	a	-	-	a	
S24	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S25	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S26	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S27	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S28	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S29	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S30	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S31	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S32	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S33	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S34	무근	0.2~0.3	b	-	a	-	-	a	
S35	무근	0.2~0.5	b	-	a	-	-	a	
S36	철근	0.2~0.5	d	-	a	-	-	a	
S37	무근	0.3~2.0	d	-	a	-	-	a	
S38	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S39	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S40	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S41	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S42	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S43	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S44	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S45	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S46	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S47	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S48	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S49	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S50	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S51	무근	0.4~1.0	d	-	a	-	-	a	
S52	철근	0.2~2.0	e	-	a	-	-	a	
S53	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S54	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S55	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S56	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S57	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S58	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S59	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S60	무근	0.3~2.0	d	-	a	-	-	a	
S61	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S62	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S63	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S64	무근	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S65	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S66	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S67	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S68	철근	0.2~0.5	d	-	a	-	-	a	
S69	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S70	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S71	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S72	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S73	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S74	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S75	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S76	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S77	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S78	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S79	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S80	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S81	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S82	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S83	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S84	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S85	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S86	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S87	무근	0.3~2.0	d	-	a	-	-	a	
S88	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S89	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S90	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S91	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S92	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S93	무근	0.1~0.5	d	-	a	-	-	a	
S94	무근	0.2~1.0	c	-	a	-	-	a	
S95	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S96	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S97	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S98	무근	0.2~2.0	d	-	a	-	-	a	
S99	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S100	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S101	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S102	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S103	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S104	무근	0.2~2.0	d	-	a	-	-	a	
S105	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S106	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S107	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S108	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S109	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S110	무근	0.2~2.0	d	-	a	-	-	a	
S111	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S112	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S113	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S114	무근	0.2~1.0	d	-	a	-	-	a	
S115	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S116	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S117	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S118	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S119	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S120	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S121	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S122	무근	0.5	c	-	a	1/6미만	0.04	c	
S123	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S124	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S125	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S126	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S127	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S128	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S129	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S130	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S131	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S132	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S133	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S134	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S135	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S136	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S137	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S138	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S139	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S140	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S141	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S142	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S143	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S144	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S145	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S146	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S147	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S148	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S149	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S150	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S151	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S152	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S153	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S154	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S155	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S156	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S157	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S158	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S159	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S160	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S161	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S162	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S163	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S164	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S165	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S166	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S167	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S168	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S169	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S170	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S171	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S172	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S173	무근	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S174	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S175	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S176	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S177	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S178	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S179	무근	0.3	d	-	a	-	-	a	
S180	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S181	무근	0.1	b	-	a	-	-	a	
S182	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S183	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S184	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S185	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S186	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S187	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S188	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S189	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S190	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S191	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S192	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S193	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S194	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S195	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S196	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S197	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S198	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S199	무근	-	a	-	a	-	-	a	

【표 2.2.1】콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도	손상면적 (㎡)	등급	
S200	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S201	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S202	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S203	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S204	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S205	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S206	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S207	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S208	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S209	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S210	무근	1.0	d	-	a	-	-	a	
S211	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S212	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S213	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S214	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S215	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S216	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S217	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S218	무근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S219	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S220	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S221	철근	0.5	d	-	a	-	-	a	
S222	철근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S223	철근	0.2~0.5	d	-	a	-	-	a	
S224	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S225	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S226	철근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S227	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S228	철근	0.2~0.5	d	-	a	-	-	a	
S229	철근	0.1	b	-	a	-	-	a	
S230	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S231	철근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S232	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S233	철근	-	a	-	a	-	-	a	
결과		b (4.954)		a (0.000)		c (0.004)			

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S1	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S2	개착	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S3	개착	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S4	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	72.6	a	0.348	b	
S5	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S6	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S7	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S8	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S9	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S10	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S11	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S12	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S13	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S14	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S15	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S16	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S17	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S18	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S19	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S20	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S21	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S22	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S23	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S24	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S25	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S26	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S27	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S28	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S29	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S30	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S31	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S32	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S33	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S34	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S35	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S36	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	57.8	a	0.350	b	
S37	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S38	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S39	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S40	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S41	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S42	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S43	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S44	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S45	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S46	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S47	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S48	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S49	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S50	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S51	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S52	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	73.5	a	0.350	b	
S53	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S54	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S55	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S56	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S57	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S58	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S59	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S60	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S61	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S62	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S63	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S64	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S65	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S66	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S67	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S68	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	42.1	a	0.450	b	
S69	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S70	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S71	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S72	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S73	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S74	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S75	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S76	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S77	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S78	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S79	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S80	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S81	철근	179.2	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	52.3	a	0.339	b	
S82	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S83	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S84	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S85	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S86	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S87	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S88	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S89	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S90	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S91	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S92	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S93	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S94	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S95	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S96	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S97	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S98	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S99	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S100	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S101	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S102	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S103	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S104	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S105	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S106	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S107	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S108	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S109	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S110	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S111	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S112	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S113	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S114	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S115	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S116	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S117	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S118	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S119	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S120	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S121	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S122	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S123	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S124	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S125	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S126	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S127	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S128	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S129	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S130	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S131	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S132	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S133	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S134	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S135	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S136	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S137	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S138	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S139	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S140	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S141	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S142	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S143	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S144	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S145	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S146	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S147	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S148	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S149	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S150	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S151	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S152	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S153	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S154	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S155	철근	179.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	73.9	a	0.409	b	
S156	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S157	철근	134.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S158	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S159	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S160	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S161	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S162	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S163	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S164	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S165	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S166	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S167	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S168	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S169	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S170	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S171	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S172	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S173	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S174	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S175	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S176	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S177	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S178	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S179	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S180	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S181	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S182	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S183	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S184	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S185	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	57.7	a	0.416	b	
S186	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S187	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S188	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S189	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S190	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S191	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S192	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S193	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S194	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S195	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S196	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S197	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S198	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S199	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	

【표 2.2.2】콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과(계속)

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화														특이 사항
			박리		층분리/박락		백태		재료분리		철근노출		탄산화		염화물		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	잔여깊이 (㎜)	등급	이온량 (kg/㎥)	등급	
S200	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S201	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S202	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S203	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S204	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S205	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S206	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S207	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S208	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S209	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S210	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S211	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S212	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S213	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S214	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S215	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S216	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S217	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S218	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S219	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S220	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S221	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S222	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S223	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S224	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S225	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S226	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S227	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S228	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S229	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S230	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	58.4	a	0.314	b	
S231	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	52.0	a	0.328	b	
S232	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S233	철근	78.4	-	a	25미만	c	-	a		b	-	a	-	-	-	-	
결과			a (0.000)		c (0.318)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		b (0.035)		

2.2.2 터널주변 상태평가 결과

가. 배수상태

【표 2.2.3】 터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과

구분	오염됨	배수불량 및 막힘	특이사항
결함점수	-	-	-
결 과	· 비교적 양호한 상태임 - 배수로는 전체적으로 양호하며, 집수구의 경미한 토사퇴적		

나. 지반상태

【표 2.2.4】 터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과

구분	풍화변질 및 단층파쇄대				특이사항
	풍화변질	단층파쇄대			
		영향범위 외	영향범위 내		
			중·소규모 단층	대규모 단층	
결함점수	-	1.0	-	-	-
결 과	· 풍화변질이 없으며, 단층파쇄대 영향범위 외임				

다. 갱문(접속부)상태

【표 2.2.5】 터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과

구분	손상		특이사항
	보통인 상태	불량한 상태	
결함점수	-	-	-
결 과	· 비교적 양호한 상태임		

라. 공동구상태

【표 2.2.6】 터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과

구분	덮개파손 및 오염됨	이물질 퇴적 및 침수	특이사항
결함점수	0.5	-	-
결 과	· 일부 공동구 덮개 파손 및 균열이 조사됨		

2.2.3 부대시설 상태평가 결과

가. 균열, 누수, 파손 및 손상

【표 2.2.7】피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	콘크리트 라이닝 균열, 누수, 파손 및 손상							
		균열		누수		파손 및 손상			특이 사항
		균열폭 (㎜)	등급	누수 상태	등급	손상도 (%)	손상면적 (㎡)	등급	
A-S1	철근	-	a	-	a	-	-	a	
A-S2	철근	-	a	-	a	-	-	a	
A-S3	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S1	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S2	철근	-	a	-	a	-	-	a	
B-S3	철근	-	a	-	a	-	-	a	
결과		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)			

나. 재질열화

【표 2.2.8】피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과

Span No.	철근 유무	부재 면적 (㎡)	콘크리트 라이닝 재질열화								
			박리		층분리/박락		백태/재료분리		철근노출		특이 사항
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	
A-S1	철근	45.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
A-S2	철근	30.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
A-S3	철근	25.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S1	철근	45.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S2	철근	30.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
B-S3	철근	25.0	-	a	-	a	-	a	-	a	
결과			a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		a (0.000)		

2.2.4 상태평가 결과

가. 기본시설물 상태평가 결과

【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과

라이닝	본선 라이닝 상태										터널주변 상태					결함 점수 합계	결함 지수
	균열	누수	파손 손상	박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건		
철근 콘크리트	4.89	0.00	0.00	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	6.92	0.161
무근 콘크리트	4.96	0.00	0.01	0.00	0.32	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	6.79	0.200

【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
무척산터널 (부산)	NATM	철근	304	0.148	b	0.161	0.024
		무근	1,751	0.852	b	0.200	0.170
합계				1.000	-	0.361	0.194

결함지수	0.194
기본시설물 상태평가결과	B

나. 부대시설물 상태평가 결과

【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과

라이닝	균열	누수	파손 손상	재질열화							결함 점수 합계	결함 지수
				박리	층분리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화	염화물		
철근 콘크리트	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.000	0.000

결함지수	0.000
부대시설 상태평가 결과	A

다. 전체시설물 상태평가 결과

【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과

시설물명	구조 형식	기본시설물		부대시설 가중치 (W)	전체시설물 상태평가 (F×W)
		상태평가결과	결함지수(F)		
무척산터널 (부산)	NATM	B	0.194	1.00	0.194

결함지수	0.194
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.194}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.194$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.194) < 0.300

2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교

- 최종 상태평가 결과, 상태기준은 "B"로 평가되었으며, '13년 정밀점검 이후 구조적 영향을 미칠만한 손상에 진전은 없는 것으로 조사되었다.
- 기 조사된 손상중 일부분 보수가 실시되었으나, 기 점검시 미보수된 손상과 보수부 재손상이 발생하였고 공용중 손상 증가와 금회 진단시 점검장비를 이용한 근접조사에 따른 추가 손상이 조사됨에 따라 결함지수가 0.110 ⇨ 0.194으로 증가한 것으로 분석되었다.

【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	a	0.090	b	0.161	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.060	b	0.200	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		A	0.110	B	0.194	

제 3장 시설물의 안전성 평가

3.1 개 요

3.2 해석조건 및 방법

3.3 해석결과 및 분석

3.4 결론

제 3장 시설물의 안전성 평가

3.1 개요

3.1.1 검토 개요

- 본 과업의 구조안전성 검토는 무척산터널에 대한 지반거동해석과 지보재에 대한 안전검토를 실시하였다.
- 구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는 것이므로 설계도서 검토 및 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통한 충분한 기초자료를 확보하여 이를 바탕으로 수치해석에 의해 안전성 여부를 판단하여야 한다.
- 터널해석은 지반을 연속체 요소로 가정하고 숏크리트와 및 Rock Bolt 같은 지보재 설치를 포함한 다단계 터널굴착 시공을 실제와 유사하게 Simulation하여 터널에 발생하는 변위와 터널의 지보재에 작용하는 응력, 전단력 및 모멘트를 수치해석 프로그램으로 해석하여 굴착 후 안전성 파악하고자 한다.
- 터널의 굴착 및 지보 형태에 따른 지반의 역학적 거동과 안전성을 평가하기 위하여 국내에서 많이 사용되는 범용 프로그램인 MIDAS GTS을 사용하여 해석을 수행하였으며, 해석에 이용된 입력정수들은 기존 설계 자료인『부산～대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 터널보고서(제7공구:고정～가곡)』,『부산～대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 토질조사보고서(제7공구:고정～가곡)』자료들을 근거로 암반의 공학적 분류방법을 통하여 자료를 분류하였고, 실제의 굴착 단계를 고려하여 터널 거동분석을 수행하였다.

【표 3.1.1】안전성 평가항목

항 목	평 가 내 용
터널지반해석	◦연속체 역학에 근거한 유한요소해석 ◦지반물성은 기 진단자료 및 각종문헌 참조 ◦주변지반 및 터널구조물의 안전성 검토 - 터널주변지반의 응력분포 - 지보재의 응력검토(숏크리트, 락볼트)

3.1.2 검토위치 선정

터널의 안전성 검토를 위한 해석단면은 외관조사 및 내구성 조사결과에 의한 터널 부재별 상태평가를 분석하고, 지반탐사 및 각종 설계 자료의 분석결과를 고려하여 위치를 선정하여야 한다.

가. 기초자료 검토

- 병렬터널로서 NATM 공법으로 시공되었으며, 개착식 구간을 제외한 본선터널의 표준지보형식은 T-1, 2, 3, 4, 5, 6으로 시공되었다.
- 굴진방법은 상·하반 반단면 굴착공법이며 터널은 대부분 연·경암반 이상의 암반에 위치해 있다.
- 지층구성은 토사-풍화암-연암-경암층의 순서이며, 지반정수 및 지층단면 등은 토질조사보고서와 설계도서를 준용하여 적용하였다.
- 기초자료 검토결과 최대 측압계수(KO=1.37)를 고려하여 적용하였다.

나. 해석위치 결정

- 시추조사 및 실내시험 결과를 바탕으로 지형이나 지질이 불리하다고 판단되는 지점
- 토피가 낮고 갱문 설치로 인하여 구조적으로 지반의 이완이 극대화 되는 지점
- 최대 편토압이 예상되거나 지상에 중요 구조물이 위치하는 경우

3.2 해석조건 및 방법

3.2.1 일반사항

- 구조형상 및 단면치수는 설계도면과 현장 실측자료를 통한 현재 상태를 고려하여 결정한다.
- 안전성평가를 위한 적용설계방법은 주지보재인 숏크리트와 록볼트는 허용응력설계법의 규정에 따라 검토한다.

3.2.2 적용된 수치해석 프로그램

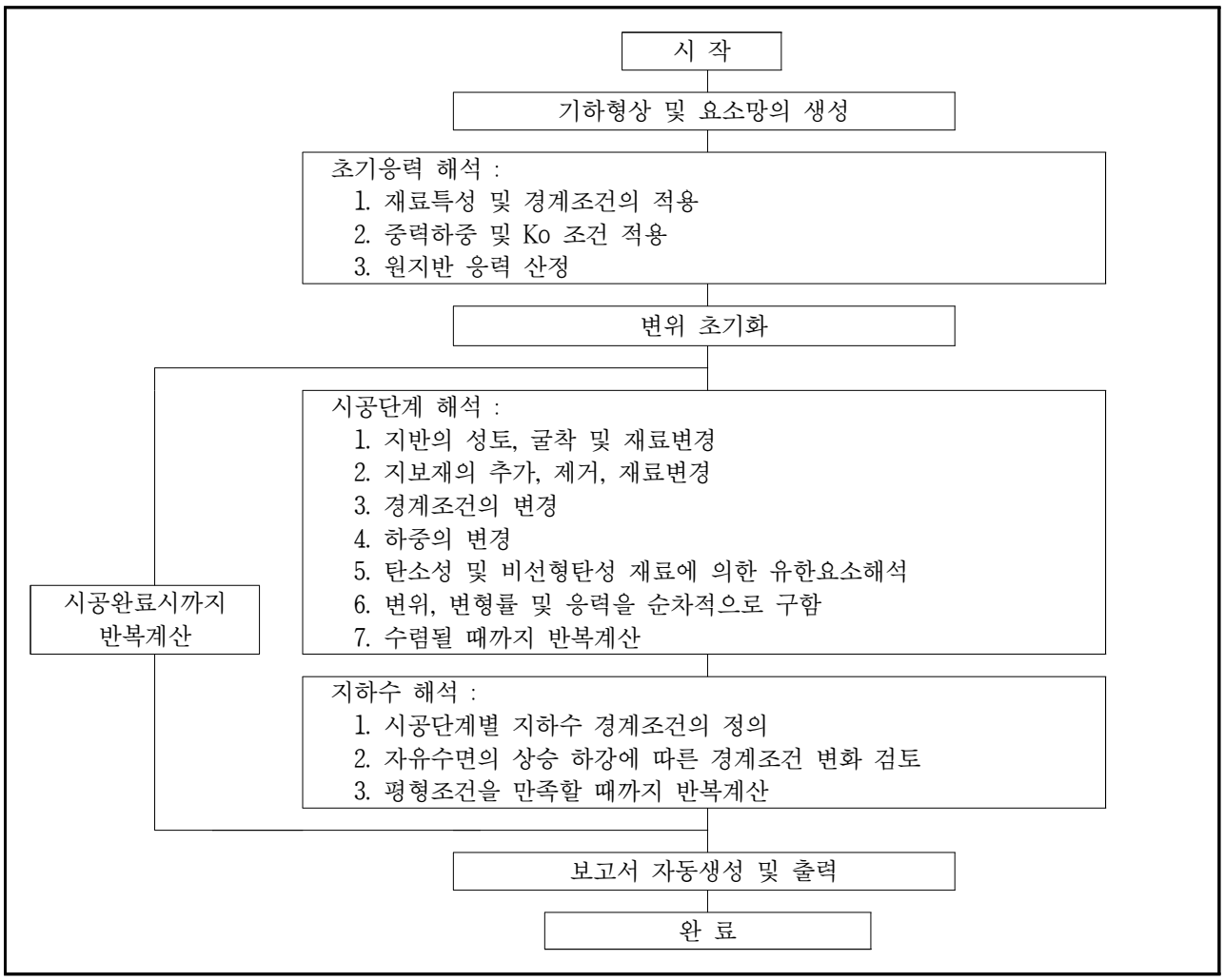
가. MIDAS/GTS

1) 프로그램 소개

한국 (주)마이다스아이티에서 개발한 MIDAS/GTS는 지반 및 구조에 대하여 2차원 및 3차원 해석을 위하여 개발된 유한요소해석 프로그램이다. 정해석, 동해석 이외에 정상 및 비정상 침투류 해석과 열전달 문제를 해석할 수 있다. MIDAS/GTS는 자체 프로그램 내에 해석기능은 물론 요소망 자동생성 및 물성치, 경계조건, 하중 조건 및 시공단계 등을 정의할 수 있는 전처리 기능과 해석결과를 그래픽으로 출력하는 후처리기능을 포함하고 있다.

2) 해석 절차

MIDAS/GTS 프로그램에 의한 해석순서는 아래 그림과 같이 절점좌표와 요소망을 원지반 상태에서 정의하고 시공단계에 따라 요소를 제거 또는 추가하면서 발생하는 불평형력을 줄여나가는 단계해석으로 이루어지며 그 과정은 다음과 같다.



【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도

3) 해석 기법

지반의 물리적 특성을 탄성 및 탄소성 이론을 도입하여 구조적으로 적당한 미소 요소로 분할해서 각 요소가 유한개의 점으로 연결되는 요소로 가정한 Model로 고려하여 수치적 해석을 수행한다.

① 지반에 대한 역학 Model

지반에 대한 거동 및 응력 분석은 2차원 평면 변형 요소 및 3차원 고체요소를 사용하고 탄소성 이론을 도입하여 연속체로 해석하였으며, 지반 재료의 거동은 Mohr-Coulomb 파괴기준을 Model화하여 분석하였다.

② 초기 응력

초기 응력이란 굴착 작업전의 응력 상태를 말하며 전 요소의 절점 변위를 0으로 하고 절점 응력은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\sigma_y = \gamma \cdot h$$

$$\sigma_x = \sigma_z = K_0 \cdot \sigma_y$$

③ 해방력

지반을 지중 굴착할 때 초기 응력을 받고 있는 지반이 굴착부분에서 응력의 해방을 받게 된다. 이때 이 자유면이 받는 하중은 초기 응력으로부터 계산되는데 이 하중을 해방력이라고 한다.

④ 지보재 모델

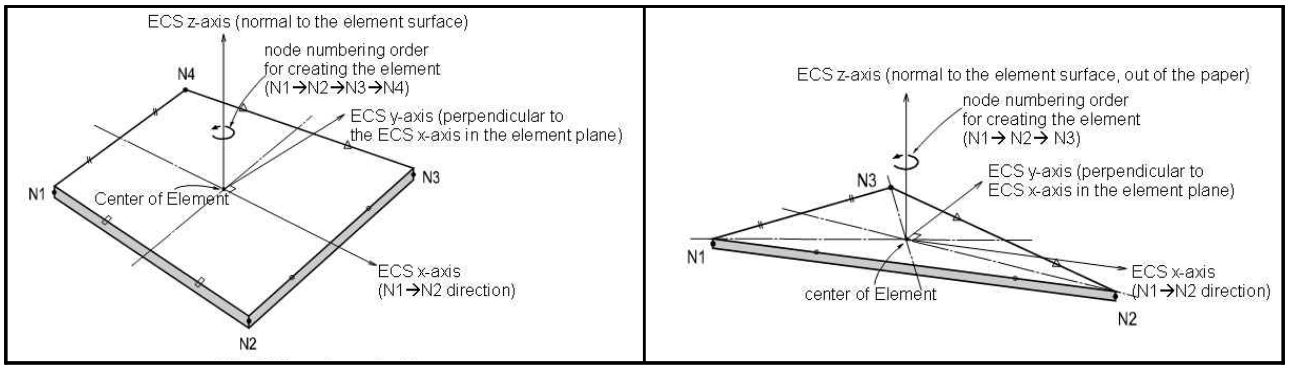
지보재는 터널과 같은 지중내 굴착면에서의 붕괴를 방지하고 그 기능과 형상을 유지할 목적으로 실시하고 있으며 주지보재로는 Shotcrete, Rock Bolt, Steel Rib 등이 이용되고 있다. 본 프로그램에서는 지보재는 다음과 같은 요소로 입력되어 해석된다.

- 숏크리트 요소 : Plate 요소

이 요소는 동일 평면상에 위치한 3, 4, 6, 8개의 절점에 의해 정의되는 판요소(3D plate element)이다. 판요소는 평면인장/압축거동, 평면전단거동, 두께방향의 휨거동, 두께방향의 전단거동을 고려한다. 그러므로 콘크리트 라이닝(concrete lining), 숏크리트(shotcrete), 토류벽, 기초판 등의 모델링에 사용될 수 있다.

판요소 두께는 면내강성(in-plane stiffness)을 계산하기 위한 것과 면외강성(out-of-plane stiffness)을 계산하기 위한 것으로 구분하여 입력한다. 일반적으로 자중이나 질량의 계산에는 면내강성의 계산을 위한 두께가 사용되지만 면외강성의 계산을 위한 두께만 입력되는 경우에는 면외방향 두께가 사용된다.

판요소로 곡면구조를 모델링 할 때는 인접한 요소간의 각도가 10° 를 넘지 않도록 해야하며, 엄밀해가 요구되는 부위에서는 2~3° 를 넘지 않도록 하는 것이 바람직하다.

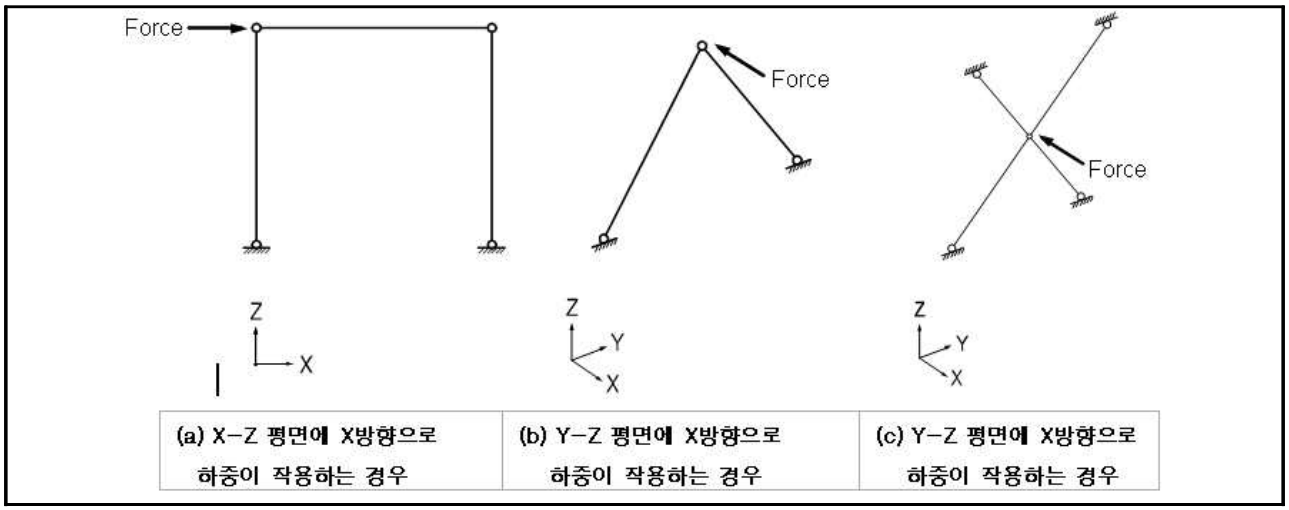


【그림 3.2.2】요소좌표계

- 록볼트 요소 : Truss 요소

GTS의 트러스요소는 2개의 절점에 의해 정의되는 “uniaxial tension-compression 3D line element“이다. 즉, 요소축 방향의 힘만 전달할 수 있는 요소를 의미하며, 일반적으로 록볼트(rock-bolt), 앵커(anchor) 및 버팀대(strut) 등의 모델링에 사용된다.

트러스요소는 회전강성이 없어서 양단의 연결절점에서 회전변위에 대한 자유도를 갖지 못하므로, 트러스요소끼리 연결할 경우에는 그림과 같은 불안정구조체가 되지 않도록 주의해야 한다.



【그림 3.2.3】Truss 요소

⑤ 구성모델

MIDAS/GTS 프로그램에서 제공하는 재료모델 및 응력-변형 구성모델은 실무분야에서 시공단계해석을 적용하는데 최적의 해석환경을 제공하고, 또한 다음과 같이 지반 및 터널분야 해석에 필요한 다양한 해석법이 내장되어 있다.

· Linear Elastic · Mohr-Coulomb· Tresca
· Von Mises · Drucker-Prager · Transversely Isotrophic
· Duncan-Chang· Hoek-brown · Jointed Rock
· Cam-Clay · Modify Cam-Clay · Strain Softening
· 2D/3D Interface

3.2.3 해석조건

- 해석모델은 지반의 경우 평면변형율 조건하에서 Mohr-Coulomb 탄소성모델을 적용하였다.
- 경계조건으로는 해석영역의 좌·우측은 Roller로 하여 X축의 변위는 고정하고 Y축 변위는 허용하였으며, 하부는 Hinge로 하여 X축, Y축의 변위를 고정하고 회전은 허용하였다.
- 해석영역은 측방향으로는 터널 폭의 4.0배 이상 하부는 4.0배 이상, 상부는 지표면까지를 해석영역으로 정하였다.
- 해석모델은 지반의 경우 평면변형율 조건하에서 비선형탄성 해석법인 Hyperbolic 모델(Mohr-Coulomb 모델)을 사용하였다.
- 기초자료 검토결과 최대 측압계수(KO=1.37)를 고려하여 해석단면별 측압계수 0.5, 1.0, 1.5를 적용하여 CASE별로 해석하였다.

3.2.4 지반정수 결정

수치해석에 적용하는 지반 물성치는 정교한 해석방법과 관련지어볼 때 매우 중요하다. 해석에 적용하기 위한 지반 물성치를 얻기 위해서 어떠한 방법을 사용하더라도, 이러한 방법은 주어진 목적에 합당해야 사용될 수 있다.

이러한 측면에서 터널에 미치는 영향검토를 위해 필요한 지반 물성치는 설계도서를 비롯한 공사 중이나 공사완료후의 지반조사결과와 각종문헌 및 여러 학자들이 제안한 상관관계식을 토대로 역학적 성질을 비교분석하여 토층조건에 맞게 가장 합리적으로 산정하였다.

가. 문헌자료 검토

지반공학과 관련한 사항을 검토하기 위해 일반적으로 적용되는 지반 물성치는 강도특성, 압축특성, 중량-체적에 관련된 데이터로서 각 항목에 대해서 다음과 같은 지반 물성치를 산정한다.

1) 강도특성 (Strength Parameters)

- 탄성계수(E), 포아송비(ν), 내부마찰각(ϕ), 점착력(c)

2) 중량, 체적에 관련된 데이터 (Gravimetric-Volumetric Data)

- 단위중량(γ), 간극비(e)

① 지반의 탄성계수 및 포아송비

【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수

지반의 종류		탄성계수 (kgf/㎠)
PEAT		1 ~ 15
점 토	보 드 럽 다	5 ~ 40
	보 통	40 ~ 80
사 층	느 슨 하 다	80 ~ 150
	견 고 하 다	100 ~ 200
	단 단 하 다	500 ~ 800
자 갈	밀실한 사력	1000 ~ 2000

※ 도해토목건축 가설구조물의 해설 (명문사 P232)

【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비

지반의 종류	탄성계수 (tf/㎡)	포아송비	지반의 종류	탄성계수 (tf/㎡)	포아송비
느슨한 모래	1000 ~ 2400	0.20 ~ 0.40	모래 및 자갈	6900 ~ 17200	0.15 ~ 0.35
중간정도 촘촘한 모래	1700 ~ 2800	0.25 ~ 0.40	연약한 점토	200 ~ 500	-
촘촘한 모래	3500 ~ 5500	0.30 ~ 0.45	중간 점토	500 ~ 1000	0.20 ~ 0.50
실트질 모래	1000 ~ 1700	0.20 ~ 0.40	견고한 모래	1000 ~ 2400	-

※ 구조물 기초설계기준 (한국지반공학회)

② 지반의 탄성계수(Es)와 N치의 관계

【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계

구 분		산 정 식
Bowels (kgf/㎠)	정규압밀된 모래	Es = 5.1(N+15)
	포화된 모래	Es = 2.55(N+5)
	과압밀된 모래	Es = 183.6+7.56N
	자갈질 모래와 자갈	Es = 12.24(N+6)
	점토질 모래	Es = 3.264(N+15)
	실트질 모래	Es = 3.06(N+6)
Schltze, Menzenbach(1996) (kgf/㎠)	세사(지하수상)	Es = 52+3.3N
	세사(지하수하)	Es = 71+4.9N
	모래	Es = 39+4.5N
	자갈섞인 모래	Es = 43+11.8N
	모래 자갈	Es = 38+10.5N
	실트질 모래	Es = 23+5.3N
Schmertmann(1970) (kgf/㎠)	실트질 모래	Es = 4N
	중간 모래	Es = 7N
	거친 모래	Es = 10N
	자갈질 모래	Es = (12~18)N
	모래 자갈	Es = 38+10.5N
Meigh & Nixon(1961) (kgf/㎠)	실트질 모래	Es = 5N
	가는 실트질 모래	Es = 8N
	중간 모래	Es = 10N
	자갈질 모래	Es = (16~34)N
	자갈	Es = (24~32)N

③ 통일분류법에 의한 방법(도로설계요령, 한국도로공사)

【표 3.2.4】통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수

종 류		재료의 상태		단위중량 (tonf/㎥)	내부 마찰각(φ)	점착력 (tonf/㎡)	분류기호 (통일분류법)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인 모래	다 진 것		2.0	40	0	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은것	2.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜것	1.9	30	0	
	사 질 토	다 진 것		1.8	25	3이하	SW, SC
	점 성 토	다 진 것		1.8	15	5이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은것, 입도가 나쁜것		1.8	35	0	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		2.1	40	0	GW, GP
		밀실하지 않은것		1.9	35	0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은것		2.0	35	0	SW, SC
		밀실하지 않은것, 입도가 나쁜것		1.8	30	0	
	사 질 토	밀실한 것		1.9	30	3 이하	SM, SC
		밀실하지 않은것		1.7	25	0	
	점 성 토	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감, N=8~15)		1.8	25	5 이하	ML, CL
		약간 무른것(손가락으로 중간 정도의 힘으로 들어감, N=4~8)		1.7	20	3 이하	
		무른것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감, N=2~4)		1.7	20	1.5 이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감, N=8~15)		1.7	20	5 이하	CH, MH, ML
		약간 무른것(손가락으로 중간 정도의 힘으로 들어감, N=4~8)		1.6	15	3 이하	
		무른것(손가락으로 약하게 눌러 조금 들어감, N=2~4)		1.4	10	1.5 이하	

④ 지반의 강도정수와 N치의 관계

【표 3.2.5】에서 Meyerhof의 값은 모래의 입도가 균일한 경우(Uniform graded)는 적은 쪽의 값을 택하고, 입도의 분포가 좋은 경우(Well-graded)는 큰 쪽의 값을 택하는 것이 좋다.

【표 3.2.5】N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계

N 치	상 대 밀 도 (Df)		내 부 마 찰 각 (φ)	
			Peck	Meyerhof
0 ~ 4	매우느슨	0.0 ~ 0.2	28.5 이하	30 이하
4 ~ 10	느 슨	0.2 ~ 0.4	28.5 ~ 30	30 ~ 35
10 ~ 30	중 간	0.4 ~ 0.6	30 ~ 36	35 ~ 40
30 ~ 50	조 밀	0.6 ~ 0.8	36 ~ 41	40 ~ 45
50 이상	매우조밀	0.8 ~ 1.0	41 이상	45 이상

【표 3.2.6】은 Dunham(1954) 및 Ohsaki가 제안한 N치를 이용한 내부마찰각 추정식이다.

【표 3.2.6】N치를 이용한 내부마찰각(φ)의 추정식

구 분	내부마찰각 추정식	비 고
Dunham(1954)	$\phi = \sqrt{12N + 15}$	입자가 둥글고 입도분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N + 20}$	입자가 둥글고 입도분포가 좋은 모래 입자가 모나고 입도분포가 균일한 모래
	$\phi = \sqrt{12N + 25}$	입자가 모나고 입도분포가 좋은 모래
Ohsaki 제안	$\phi = \sqrt{20N + 15}$	-

나. 설계 적용 지반정수

【표 3.2.7】무척산터널 설계 적용 지반정수

구분	단위중량 (t/m^3)		내부마찰각 (°)		점착력 (t/m^2)		탄성계수 (t/m^2)		포아송비	
	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2	단면1	단면2
토사	1.9	1.9	30	30	0.0	0.0	4,000	4,000	0.31	0.31
연암	2.2	2.2	38	38	10.0	10.0	80,000	100,000	0.28	0.27
경암	2.5	2.5	43	45	30.0	30.0	300,000	630,000	0.25	0.23

다. 적용 지반정수

본 터널의 검토단면의 지층구성은 상부로부터 토사-연암-경암 순으로 구성되어 있으며, 안전성 검토를 위한 지반정수 설계당시 참고문헌 및 시추조사등을 통하여 합리적인 지반정수를 산정한 것으로 판단하여 설계에 적용된 지반 정수를 적용하였다.

3.2.5 지보재 재료특성

【표 3.2.8】 지보재 재료특성

구 분	단위중량 (kN/㎥)	탄성계수 (㎫)	압축강도 (㎫)	비 고
숏크리트	24.0	5,000~15,000	10.0~21.0	-
록볼트	78.5	210,000	-	-

3.2.6 검토하중

터널해석의 결과를 실제 현장문제에 적용하기 위해서는 굴착과 지보설치 등과 같은 시공과정이 반영되어야 하며, 터널굴착 과정은 주변지반의 3차원적인 응력-변형 거동을 보인다. 또한 종방향 Arching 효과가 변화하는 경향을 반영하기 위해서 2차원 해석의 각 해석단계를 3차원 터널 축상의 각 위치와 대응시켜 해석단계별로 굴착에 의해 발생하는 불균형 굴착응력을 분배하여 작용시켜야 한다. 따라서 본 해석에서는 터널에 발생된 변위가 응력수준에 비례한다는 가정 하에 하중분배율을 이용하여 단계별 굴착하중을 적용하여 해석을 수행하였다.

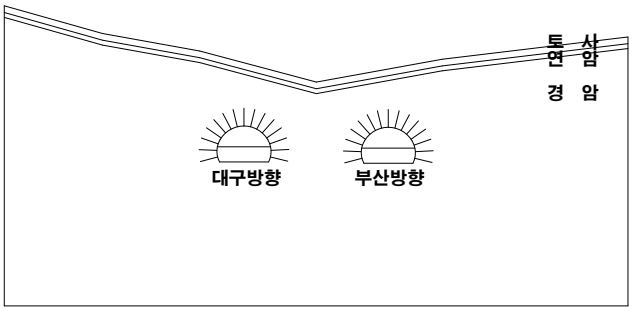
【표 3.2.9】 하중분배율

구 분	굴착단계	Soft Shotcrete+R/B	Hard Shotcrete+R/B	비 고
하중분배율(%)	40	30	30	상하 반단면굴착

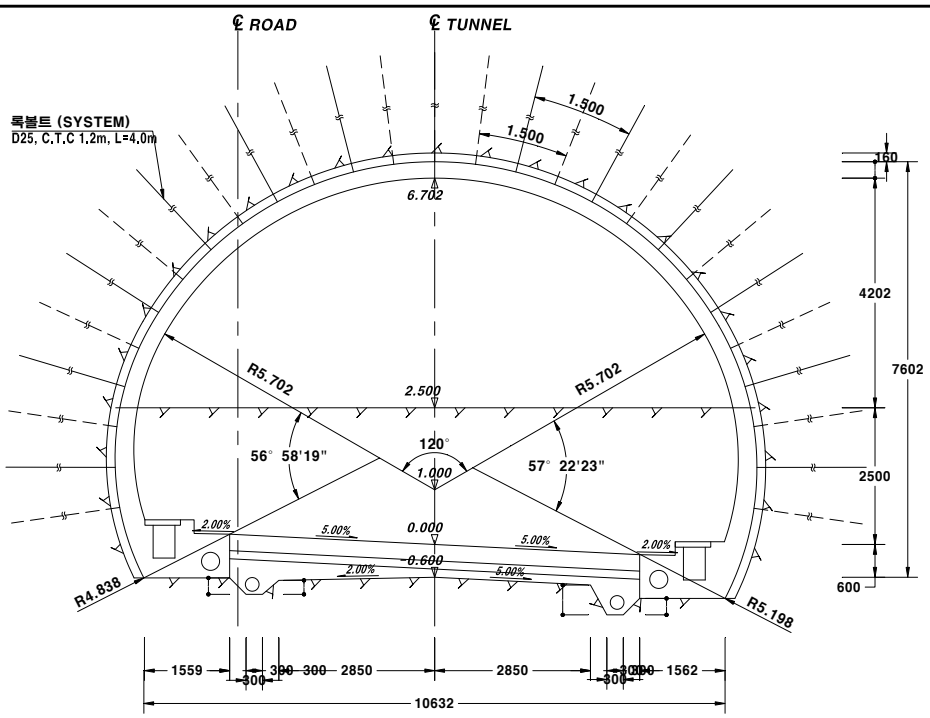
3.3 해석결과 및 분석

3.3.1 무척산터널 NATM 시점부(STA.24k+682)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 NATM 시점부 부산방향 Sta.24+682에 위치하고 있으며, 상부에 1.5m 가량의 토사층과 1.1m의 연암이 위치하고 있으며, 터널은 경암층에 위치해 있다. 터널의 지보형식은 TYPE-Ⅵ이며, 2분할 굴착을 검토하였다.

나. 해석단면 표준지보도



굴 착 방 법	굴진장 (m)	록볼트 간격		록볼트 길이(m)	숏크리트 두께(mm)	강지보공	라이닝 (mm)
		종	횡				
반단면 분할굴착	1.2 / 1.2	1.2	1.5	4.0	160	H-100x100x6x8	300(철근)

다. 해석개요

○ 적용 프로그램 : MIDAS GTS Ver.410
○ 해 석 모 델 : Mohr - Coulomb Model
○ 적용 측압계수 : 0.5, 1.0, 1.5

라. 해석 적용 물성치

1) 지반

지반등급	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (kN/m^2)	점착력 (kN/m^2)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	40,000	0	29	0.310
연암	22	1,000,000	100	38	0.270
경암	25	6,300,000	300	45	0.230

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m^3)	탄성계수(kN/m^2)	압축강도(kN/m^2)
연성숏크리트	23.5	5,000,000	10,000
강성숏크리트	23.5	15,000,000	21,000
록 볼 트	78.5	21,000,000	-

마. 해석절차 및 하중분담율

구 분	시공 단계	하중 분담율		
		굴 착	Soft 숏크리트+R/B	Hard 숏크리트
대구방향 상반 굴착	1	40 %		
	2		70 %	
	3			100%
대구방향 하반 굴착	4	40 %		
	5		70 %	
	6			100%
부산 방향 상반 굴착	7	40 %		
	8		70 %	
	9			100%
부산 방향 하반 굴착	10	40 %		
	11		70 %	
	12			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.535	-0.057	0.030	0.007	0.004	-0.003
2	-1.016	-0.107	0.059	0.002	0.009	-0.004
3	-1.485	-0.165	0.110	0.000	0.031	0.006
4	-1.477	-0.027	-0.008	0.006	0.017	-0.005
5	-1.496	0.165	-0.190	0.005	0.006	-0.014
6	-1.489	0.619	-0.562	0.006	-0.002	-0.021
7	-1.476	0.627	-0.570	-0.488	-0.024	0.020
8	-1.476	0.633	-0.579	-0.940	-0.048	0.057
9	-1.472	0.632	-0.602	-1.372	-0.082	0.099
10	-1.467	0.644	-0.583	-1.360	0.030	-0.033
11	-1.469	0.652	-0.568	-1.374	0.180	-0.203
12	-1.471	0.659	-0.559	-1.401	0.604	-0.705
최대값	**-1.496**	**0.659**	**-0.602**	**-1.401**	**0.604**	**-0.705**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.151	3.319
록볼트 축력(kN)	21.08	25.50
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.400 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 대구방향에서 -1.496㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.705㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 3.319MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 25.50N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.454	0.077	-0.112	0.005	-0.023	-0.021
2	-0.876	0.126	-0.187	-0.001	-0.038	-0.035
3	-1.560	0.255	-0.318	-0.005	-0.064	-0.057
4	-1.507	0.491	-0.543	-0.005	-0.113	-0.091
5	-1.484	0.677	-0.734	-0.010	-0.153	-0.118
6	-1.395	1.202	-1.221	-0.020	-0.229	-0.170
7	-1.388	1.223	-1.197	-0.449	-0.123	-0.250
8	-1.394	1.237	-1.182	-0.855	-0.054	-0.301
9	-1.401	1.256	-1.153	-1.506	0.073	-0.417
10	-1.408	1.282	-1.092	-1.449	0.299	-0.641
11	-1.421	1.302	-1.044	-1.424	0.478	-0.820
12	-1.446	1.337	-0.956	-1.368	1.011	-1.370
최대값	**-1.560**	**1.337**	**-1.221**	**-1.506**	**1.011**	**-1.370**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.254	3.034
록볼트 축력(kN)	19.38	23.22
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 대구방향에서 -1.560㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 1.370㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 3.254MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 23.22N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

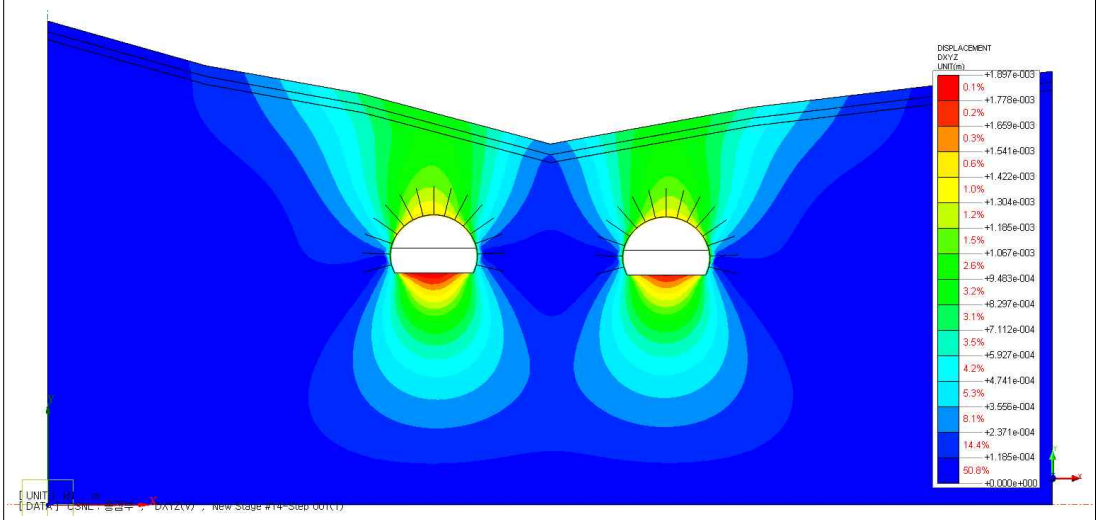
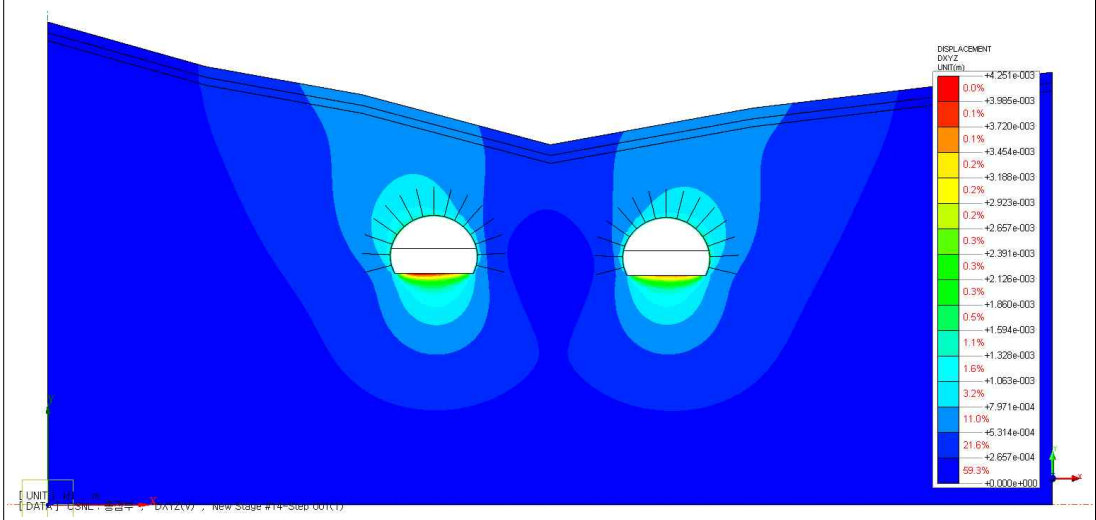
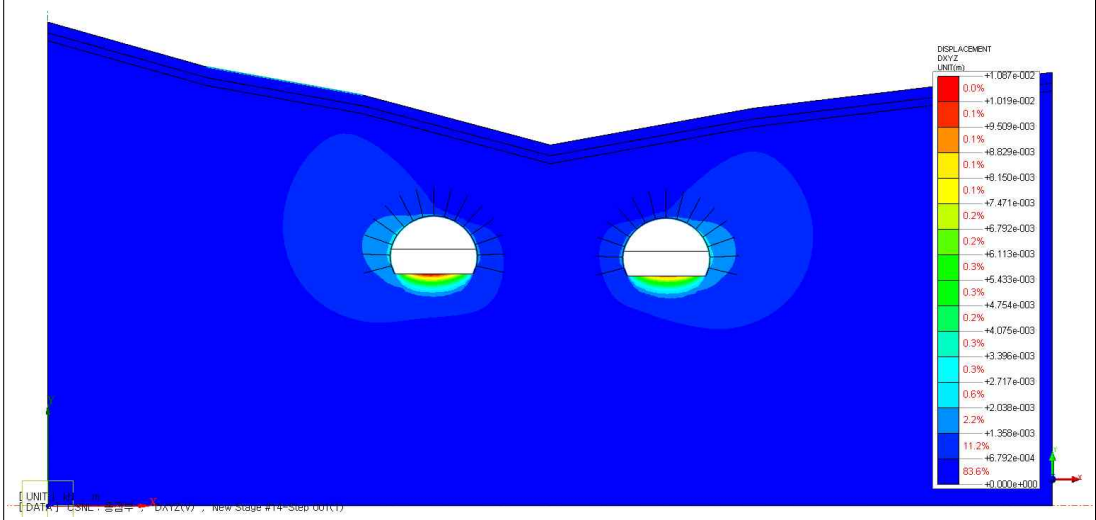
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.374	0.212	-0.254	0.003	-0.051	-0.039
2	-0.743	0.359	-0.433	-0.004	-0.085	-0.067
3	-1.674	0.770	-0.842	-0.014	-0.190	-0.140
4	-1.591	1.084	-1.150	-0.018	-0.265	-0.191
5	-1.507	1.376	-1.448	-0.031	-0.352	-0.249
6	-1.342	1.942	-2.066	-0.054	-0.497	-0.346
7	-1.342	1.975	-2.008	-0.421	-0.267	-0.547
8	-1.353	1.999	-1.970	-0.786	-0.107	-0.685
9	-1.381	2.050	-1.851	-1.670	0.274	-1.039
10	-1.399	2.086	-1.760	-1.586	0.578	-1.335
11	-1.428	2.124	-1.659	-1.505	0.863	-1.606
12	-1.480	2.187	-1.489	-1.368	1.501	-2.216
최대값	**-1.480**	**2.187**	**-2.066**	**-1.670**	**1.501**	**-2.216**

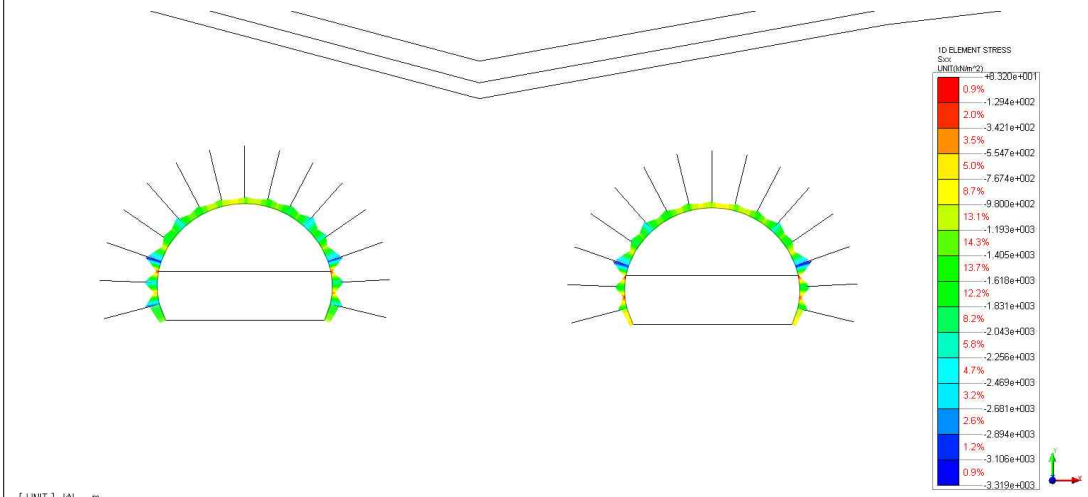
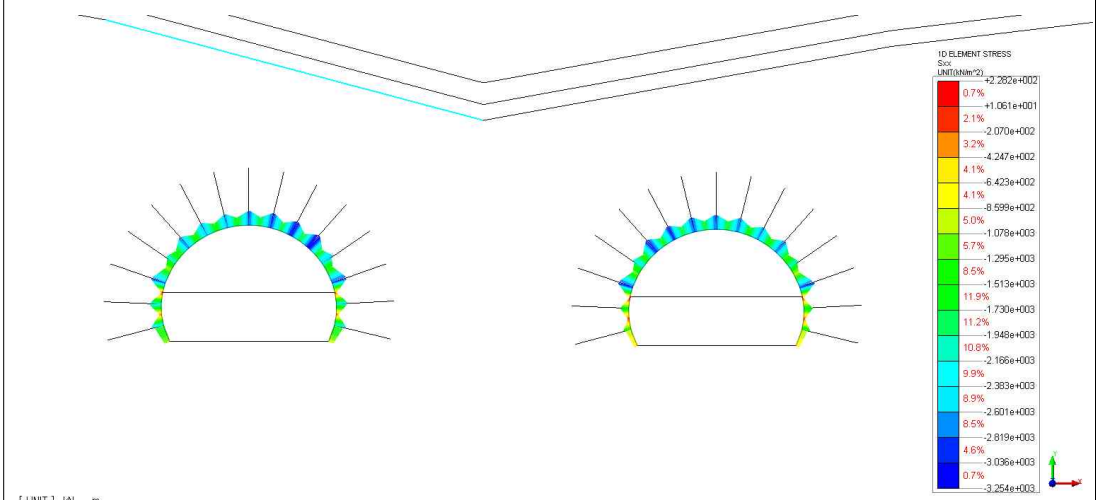
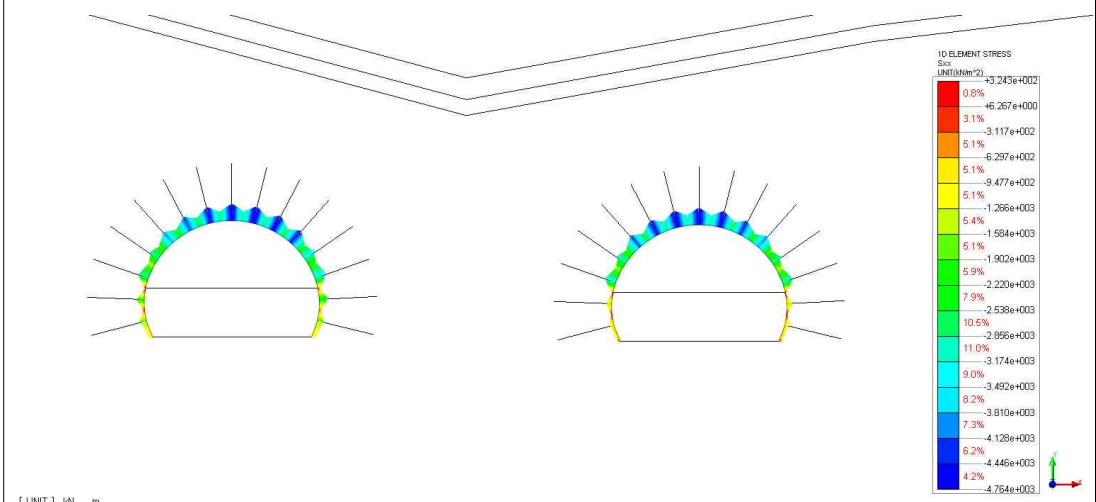
② 지보재 응력

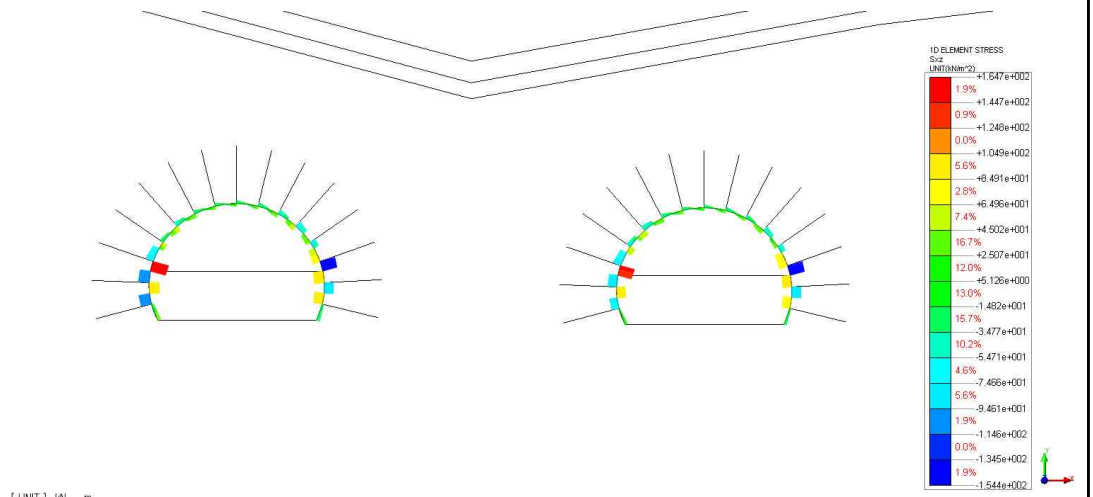
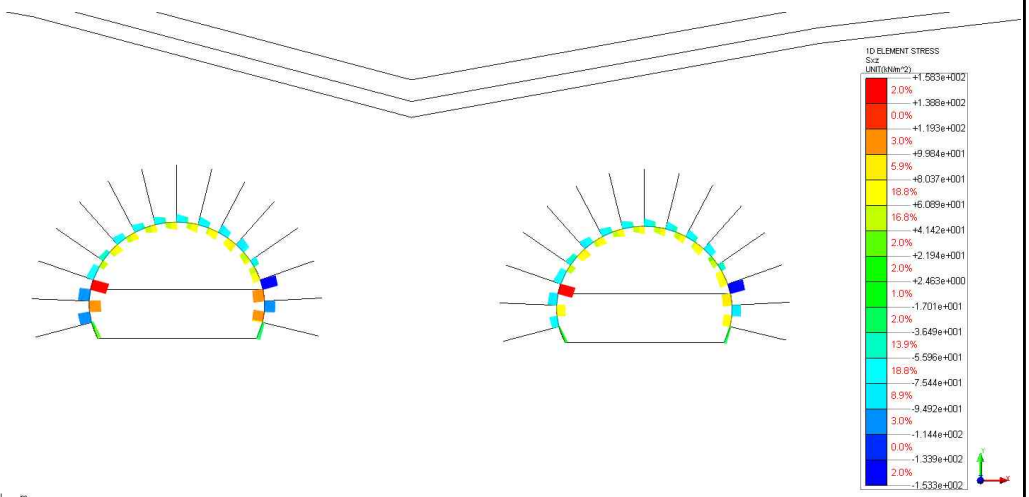
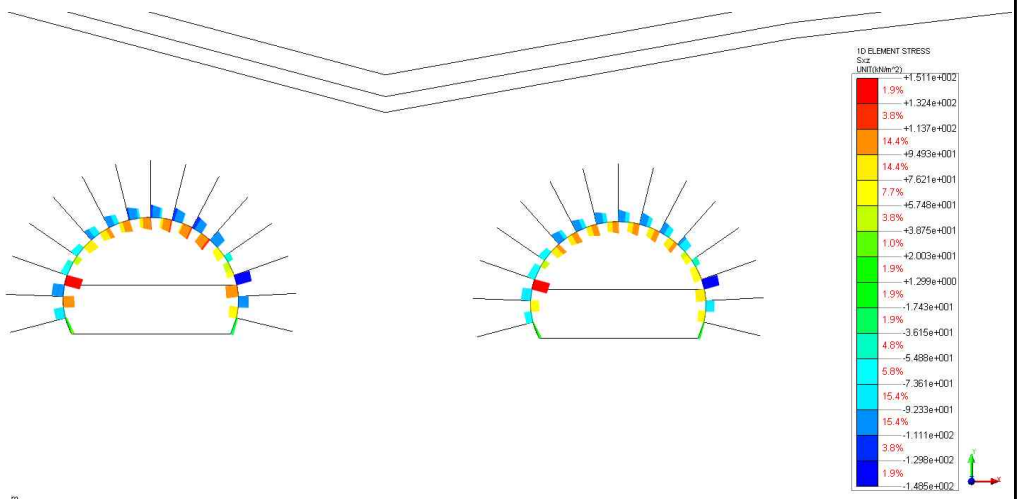
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	4.763	4.764
록볼트 축력(kN)	26.52	24.56
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

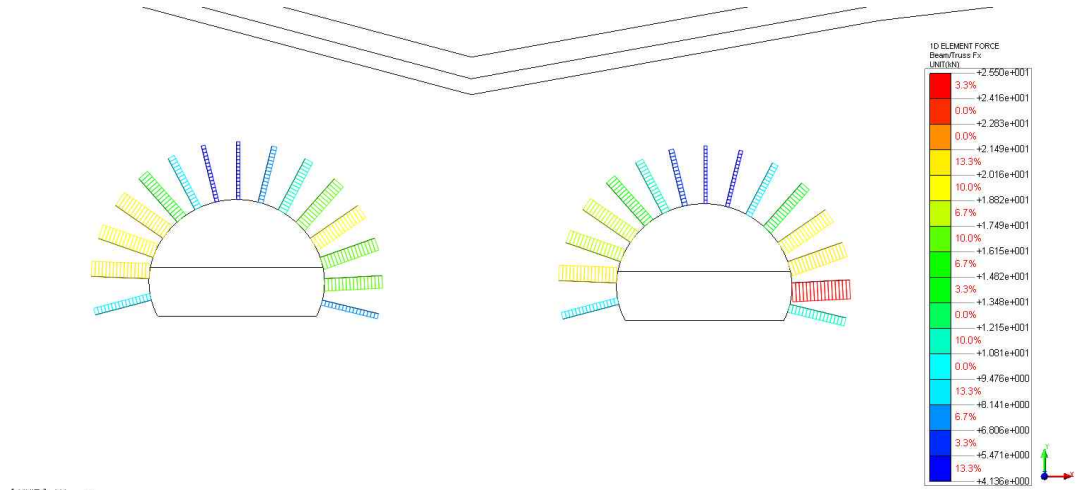
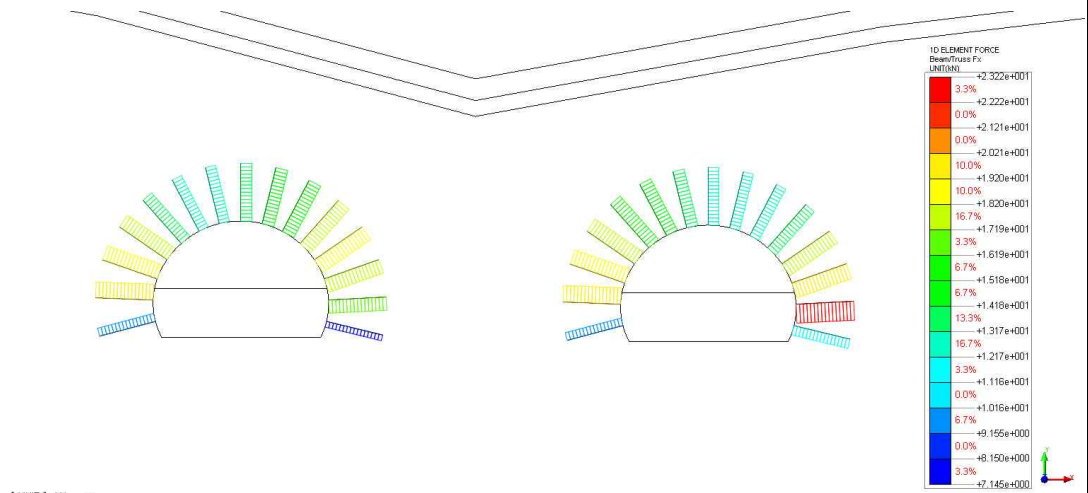
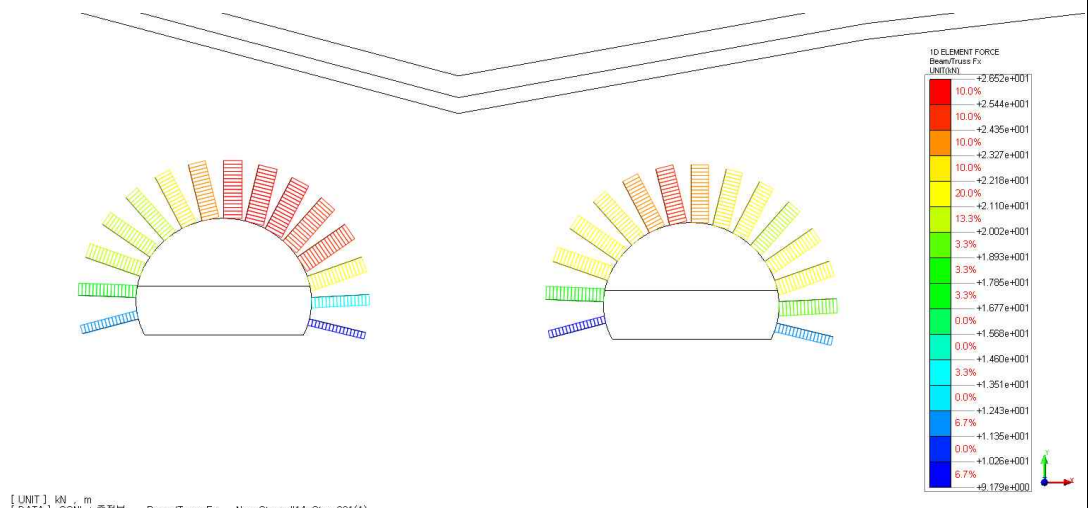
③ 해석결과

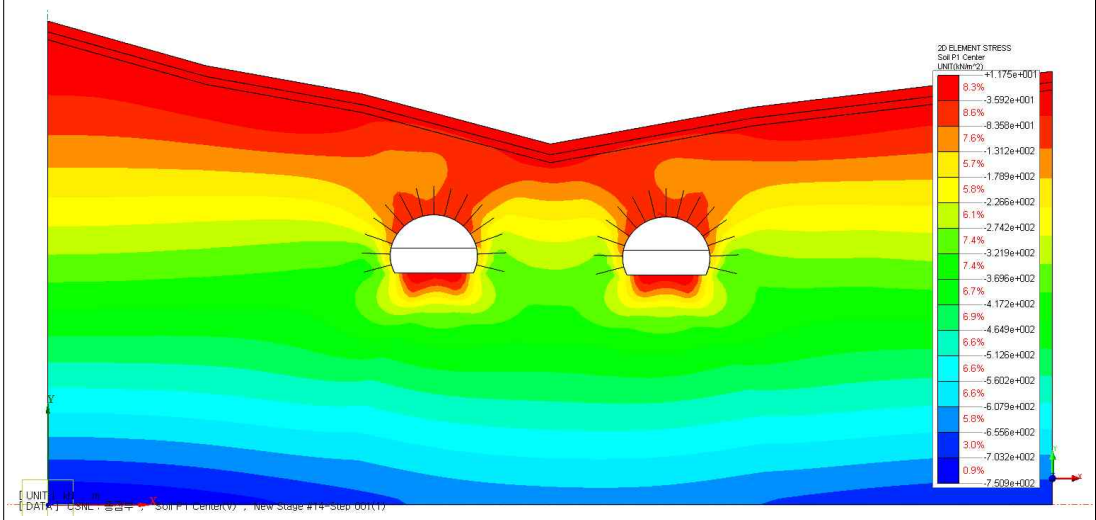
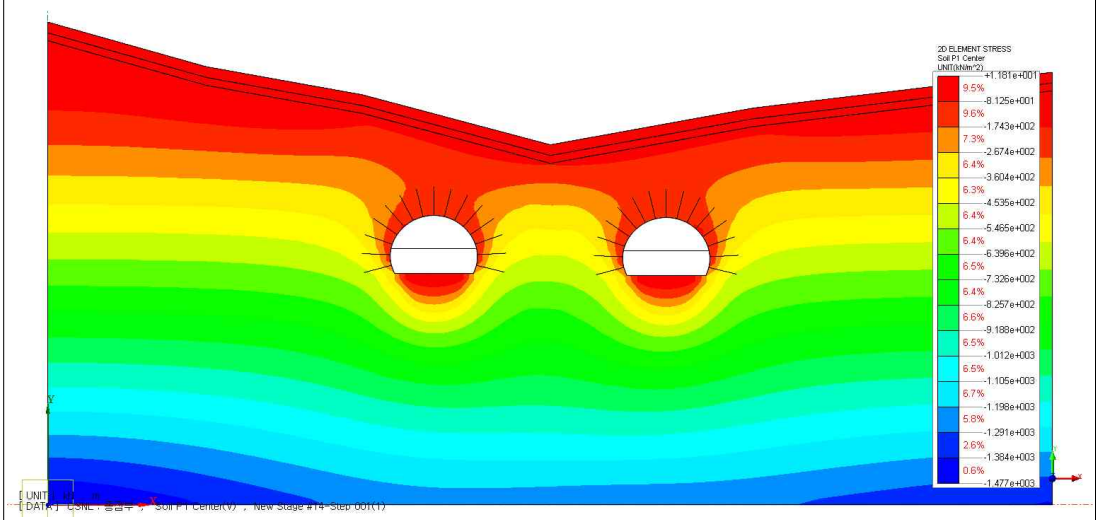
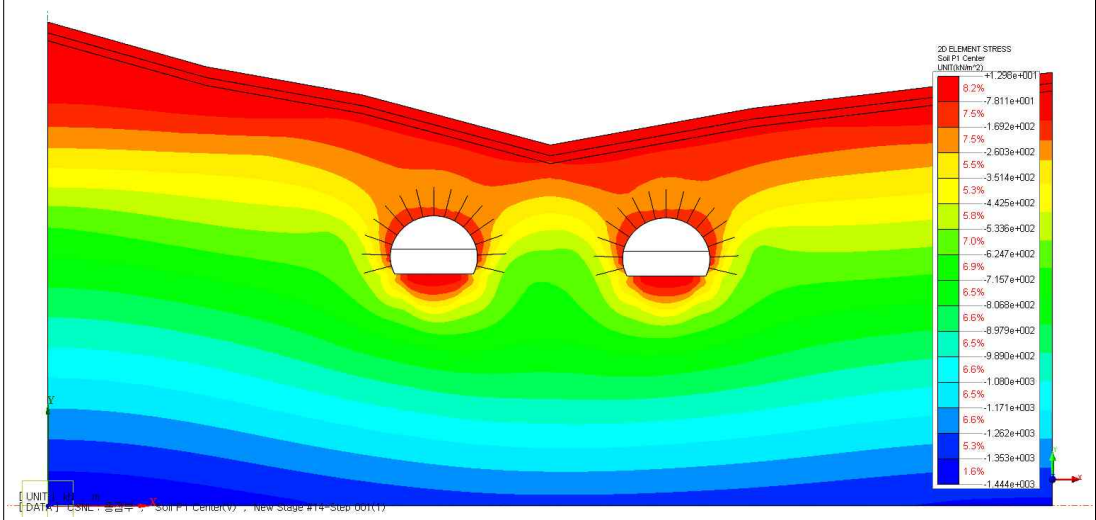
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -1.670㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 2.216㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.764MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 26.52N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

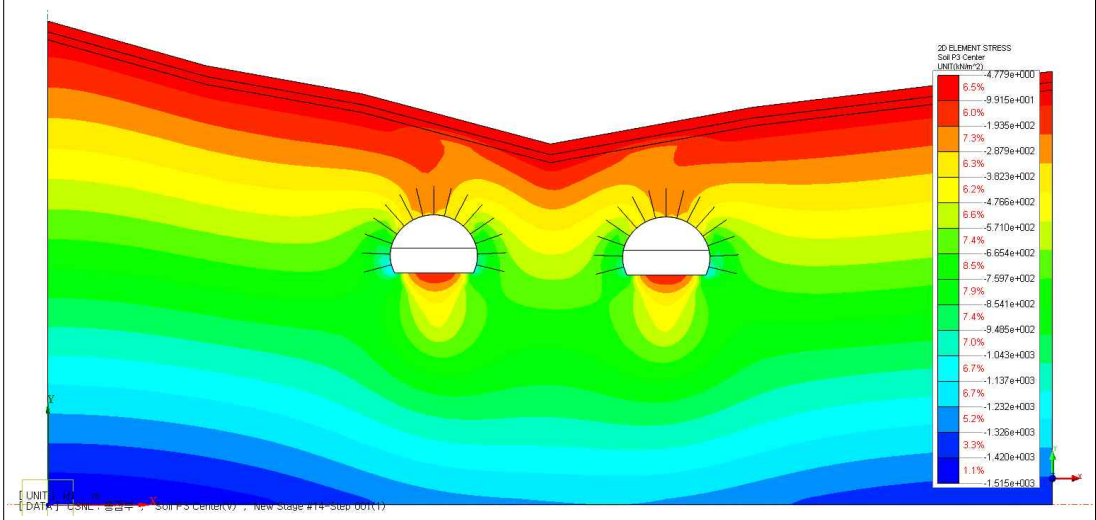
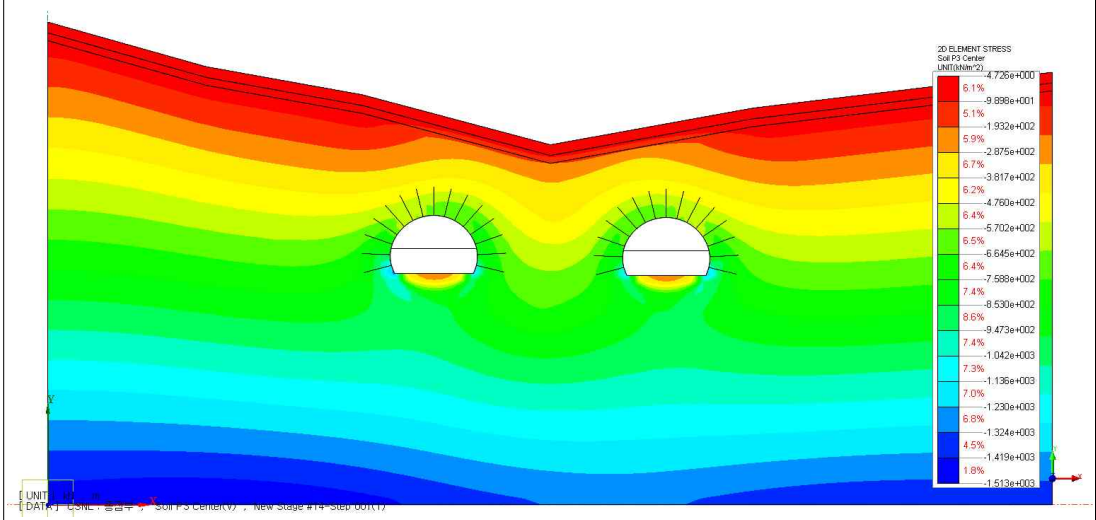
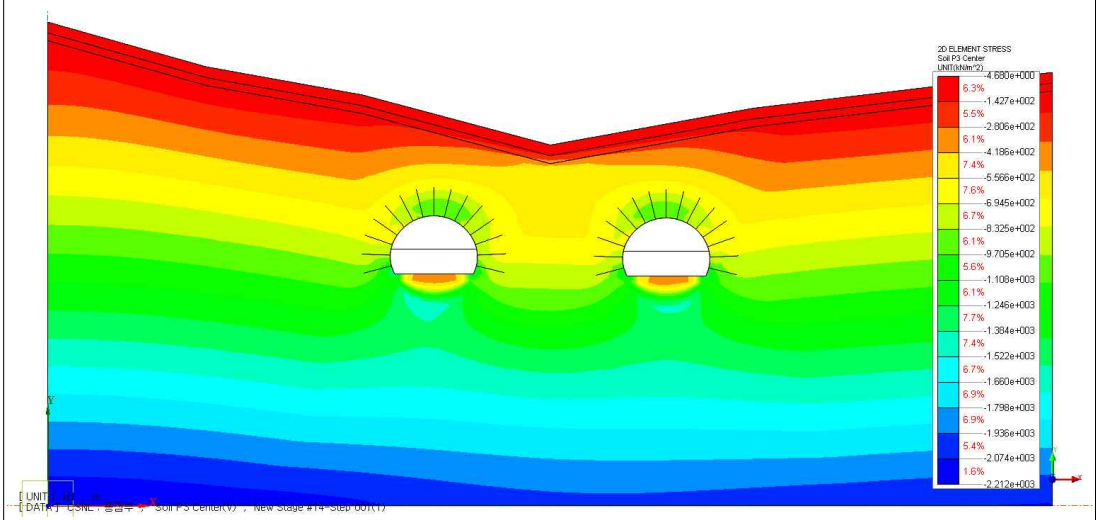
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 휨압축응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 전단응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

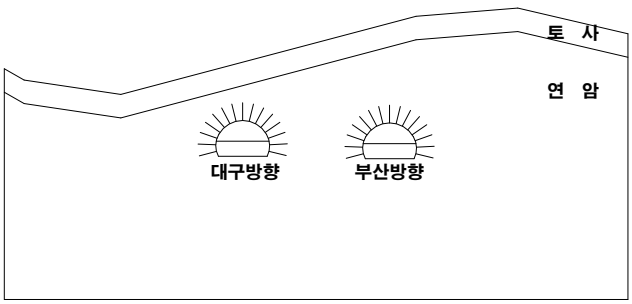
구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최대 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

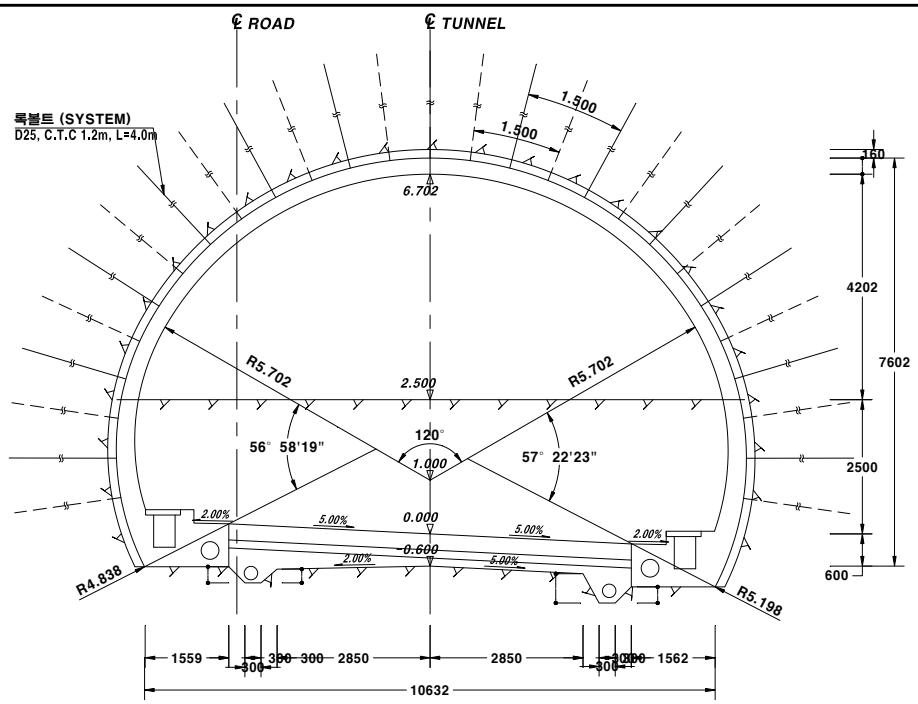
구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.3.2 무척산터널 NATM 종점부(STA.26k+622)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 NATM종점부 부산방향 Sta.26+622에 위치하고 있으며, 상부에 5.3m 가량의 토사층이 위치하고 있으며, 터널은 연암층에 위치해 있다. 터널의 지보형식은 TYPE-Ⅵ이며, 2분할 굴착을 검토하였다.

나. 해석단면 표준지보도



굴 착 방 법	굴진장 (m)	록볼트 간격		록볼트 길이(m)	숏크리트 두께(mm)	강지보공	라이닝 (mm)
		종	횡				
반단면 분할굴착	1.2 / 1.2	1.2	1.5	4.0	160	H-100x100x6x8	300(철근)

다. 해석개요

○ 적용 프로그램 : MIDAS GTS Ver.410
○ 해 석 모 델 : Mohr - Coulomb Model
○ 적용 측압계수 : 0.5, 1.0, 1.5

라. 해석 적용 물성치

1) 지반

지반등급	단위중량 (kN/m^3)	변형계수 (kN/m^2)	점착력 (kN/m^2)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	40,000	0	30	0.310
연암	22	800,000	100	38	0.280
경암	25	3,000,000	300	43	0.250

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m^3)	탄성계수(kN/m^2)	압축강도(kN/m^2)
연성숏크리트	23.5	5,000,000	10,000
강성숏크리트	23.5	15,000,000	21,000
록 볼 트	78.5	21,000,000	-

마. 해석절차 및 하중분담율

구 분	시공 단계	하중 분담율		
		굴 착	Soft 숏크리트+R/B	Hard 숏크리트
대구방향 상반 굴착	1	40 %		
	2		70 %	
	3			100%
대구방향 하반 굴착	4	40 %		
	5		70 %	
	6			100%
부산방향 상반 굴착	7	40 %		
	8		70 %	
	9			100%
부산방향 하반 굴착	10	40 %		
	11		70 %	
	12			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.560	-0.043	0.065	0.002	0.007	-0.004
2	-1.073	-0.080	0.123	-0.007	0.016	-0.005
3	-1.603	-0.156	0.205	-0.013	0.041	0.006
4	-1.598	-0.076	0.068	-0.010	0.027	-0.006
5	-1.621	0.085	-0.115	-0.012	0.016	-0.015
6	-1.615	0.382	-0.558	-0.014	0.006	-0.023
7	-1.608	0.376	-0.607	-0.813	-0.096	0.090
8	-1.614	0.366	-0.655	-1.490	-0.191	0.190
9	-1.602	0.309	-0.805	-2.275	-0.419	0.365
10	-1.600	0.319	-0.793	-2.297	-0.262	0.171
11	-1.604	0.322	-0.791	-2.337	0.059	-0.206
12	-1.605	0.325	-0.790	-2.344	0.534	-0.806
최대값	**-1.621**	**0.382**	**-0.805**	**-2.344**	**-0.419**	**-0.806**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	2.972	4.632
록볼트 축력(kN)	19.77	36.32
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.400 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.344㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.806㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.632MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 36.32N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.479	0.081	-0.059	-0.002	-0.018	-0.021
2	-0.931	0.134	-0.092	-0.013	-0.028	-0.035
3	-1.554	0.212	-0.192	-0.024	-0.048	-0.054
4	-1.500	0.386	-0.440	-0.027	-0.096	-0.088
5	-1.479	0.549	-0.635	-0.034	-0.134	-0.114
6	-1.392	0.952	-1.170	-0.047	-0.208	-0.163
7	-1.393	0.961	-1.188	-0.783	-0.183	-0.170
8	-1.405	0.966	-1.207	-1.400	-0.173	-0.170
9	-1.414	0.967	-1.234	-2.110	-0.142	-0.227
10	-1.427	0.989	-1.187	-2.098	0.062	-0.474
11	-1.443	1.006	-1.150	-2.107	0.330	-0.728
12	-1.468	1.033	-1.089	-2.062	0.939	-1.469
최대값	**-1.554**	**1.033**	**-1.234**	**-2.110**	**0.939**	**-1.469**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	3.306	4.555
록볼트 축력(kN)	19.74	30.42
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

③ 해석결과

해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.110㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 1.469㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 4.555MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 30.42N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

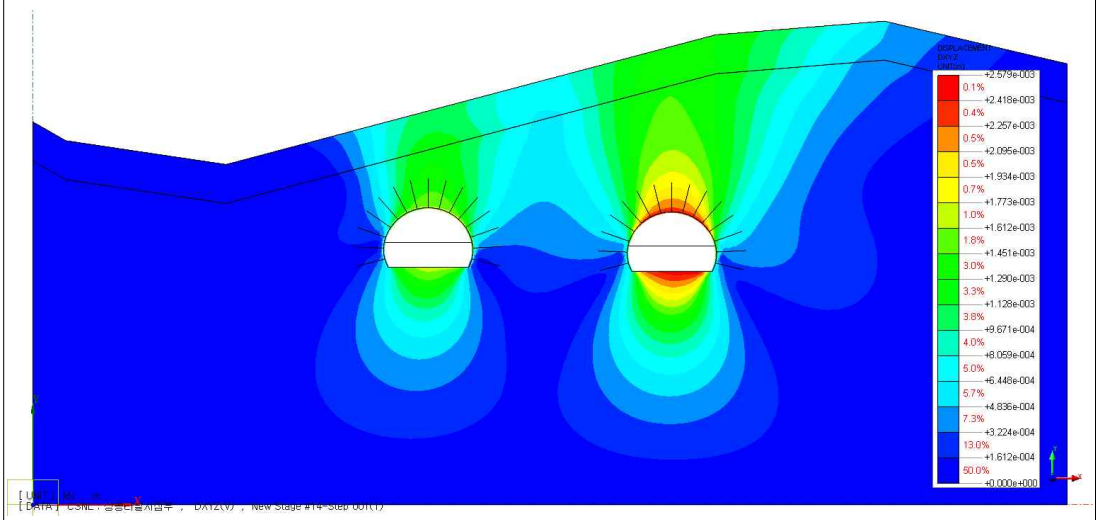
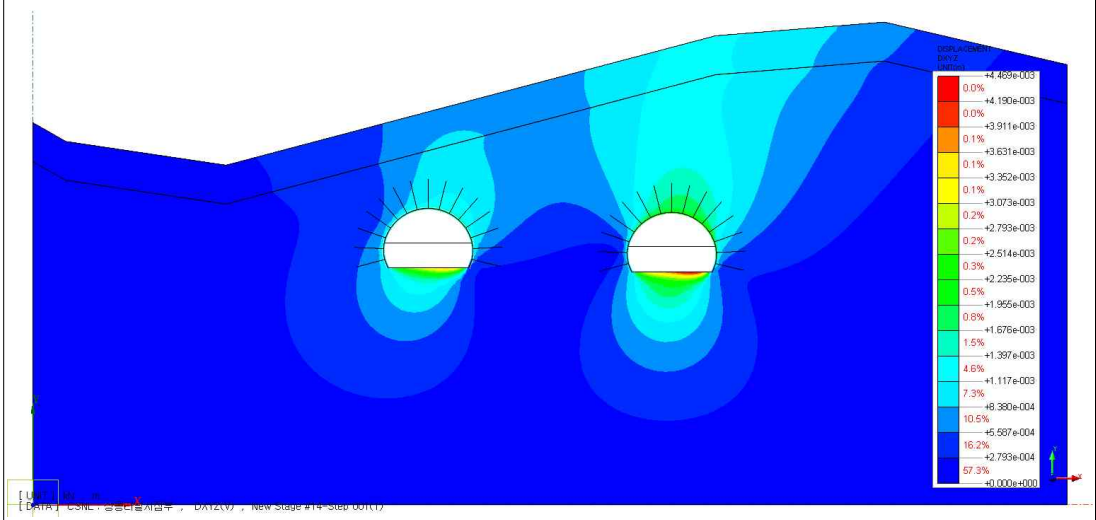
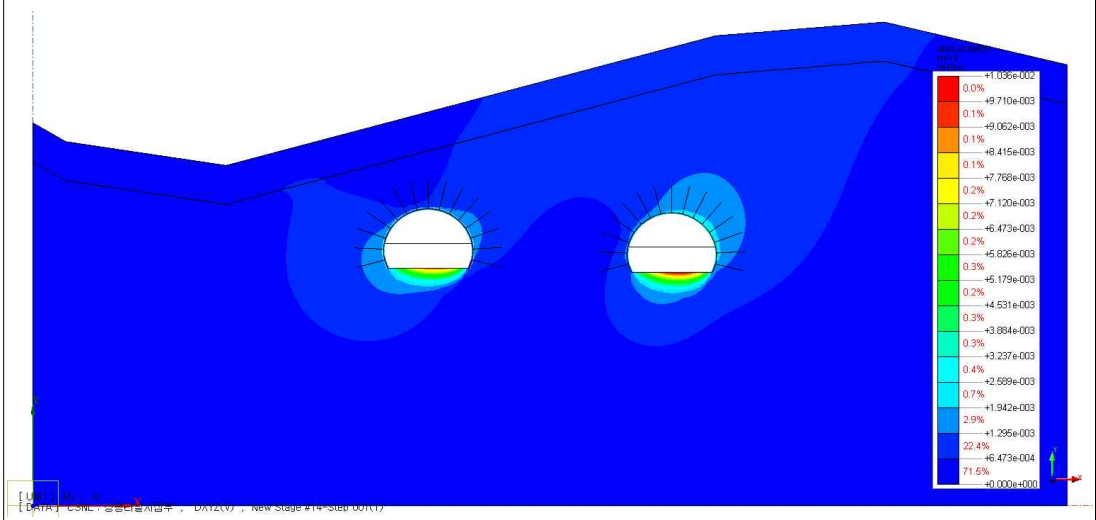
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.397	0.205	-0.182	-0.005	-0.044	-0.038
2	-0.799	0.348	-0.307	-0.019	-0.073	-0.064
3	-1.622	0.644	-0.679	-0.038	-0.162	-0.129
4	-1.533	0.886	-1.014	-0.045	-0.236	-0.180
5	-1.450	1.145	-1.326	-0.060	-0.318	-0.235
6	-1.278	1.661	-1.906	-0.087	-0.465	-0.331
7	-1.286	1.684	-1.895	-0.762	-0.317	-0.456
8	-1.306	1.697	-1.889	-1.333	-0.216	-0.542
9	-1.338	1.724	-1.840	-2.274	0.015	-0.828
10	-1.363	1.759	-1.761	-2.234	0.297	-1.153
11	-1.397	1.794	-1.678	-2.195	0.603	-1.451
12	-1.460	1.857	-1.524	-2.075	1.347	-2.240
최대값	**-1.622**	**1.857**	**-1.906**	**-2.274**	**1.347**	**-2.240**

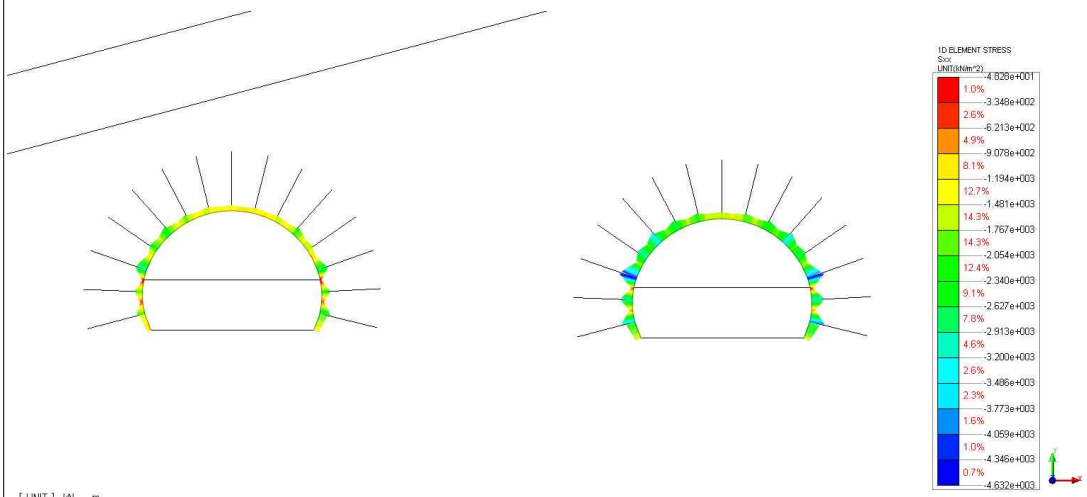
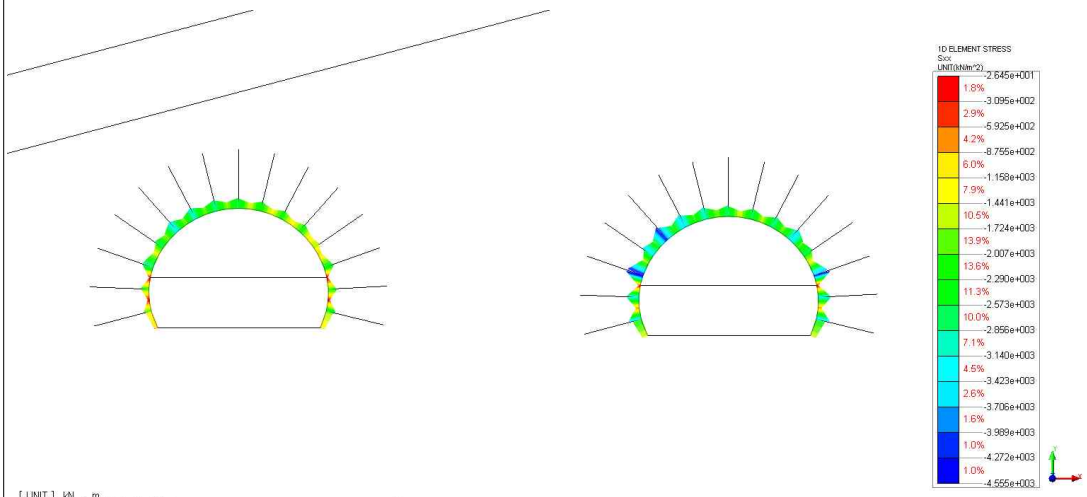
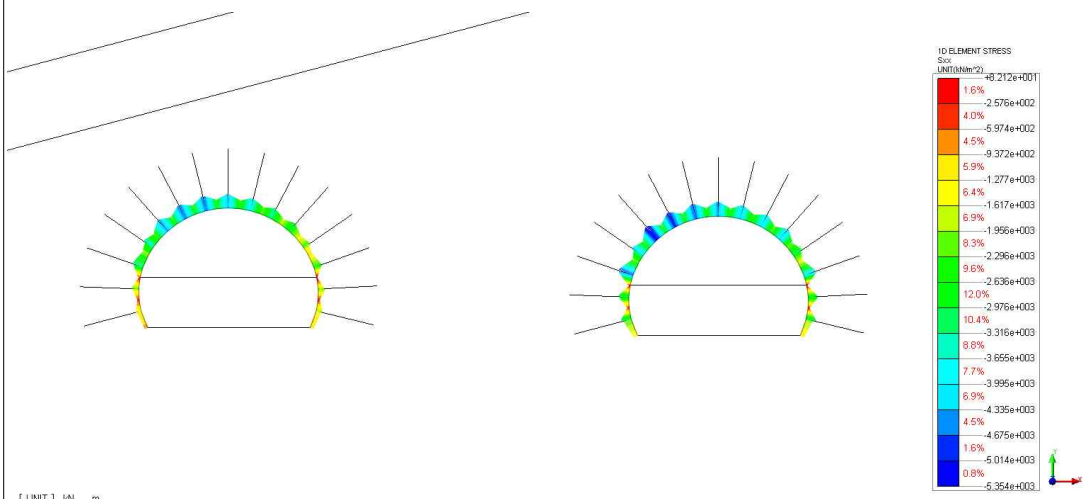
② 지보재 응력

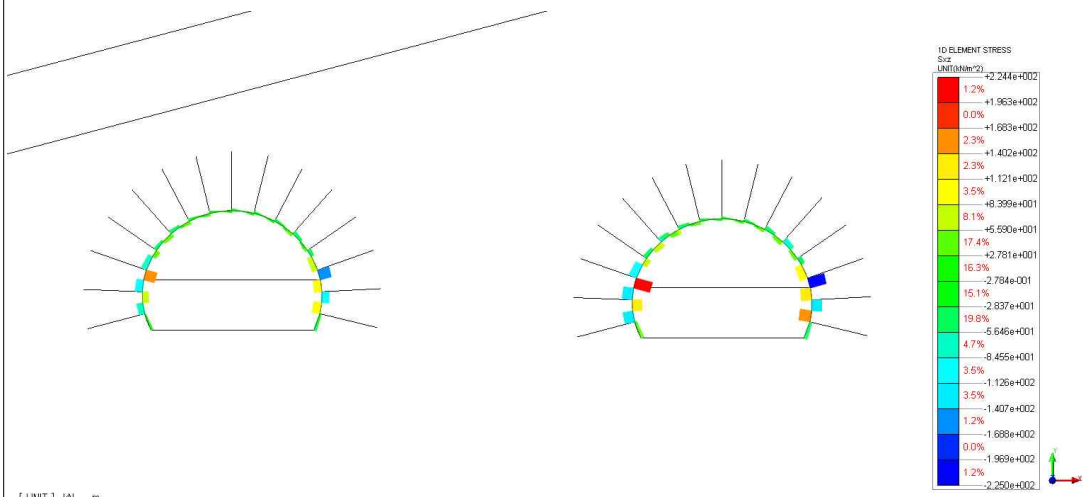
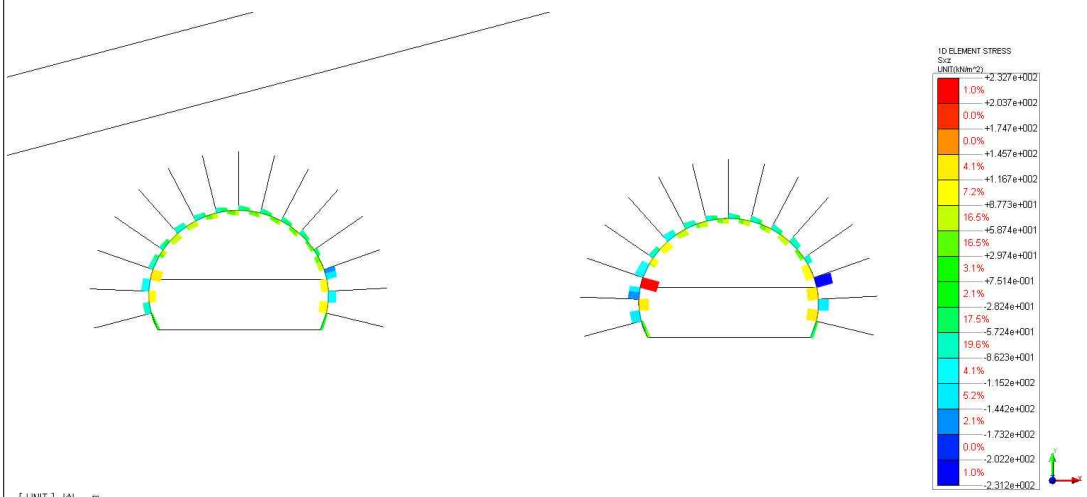
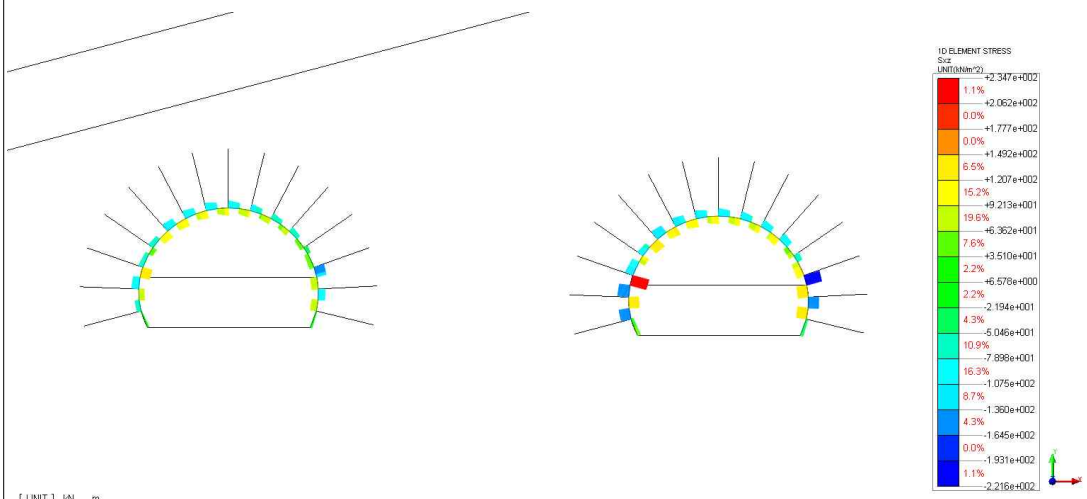
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	4.662	5.354
록볼트 축력(kN)	25.06	31.83
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

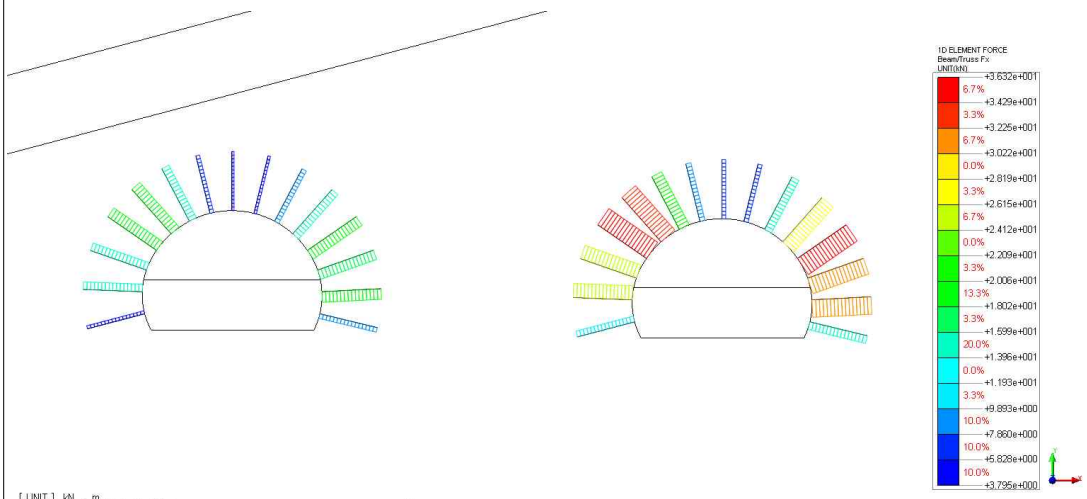
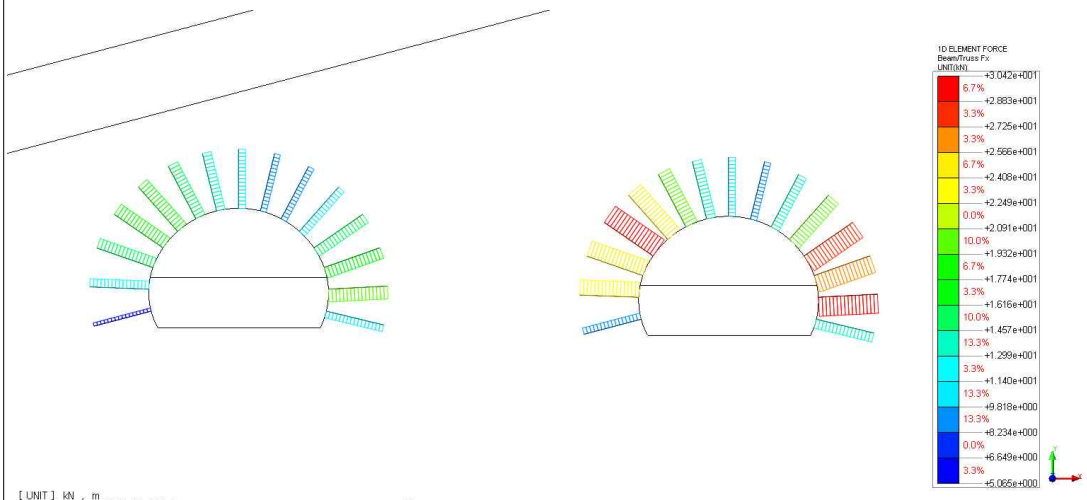
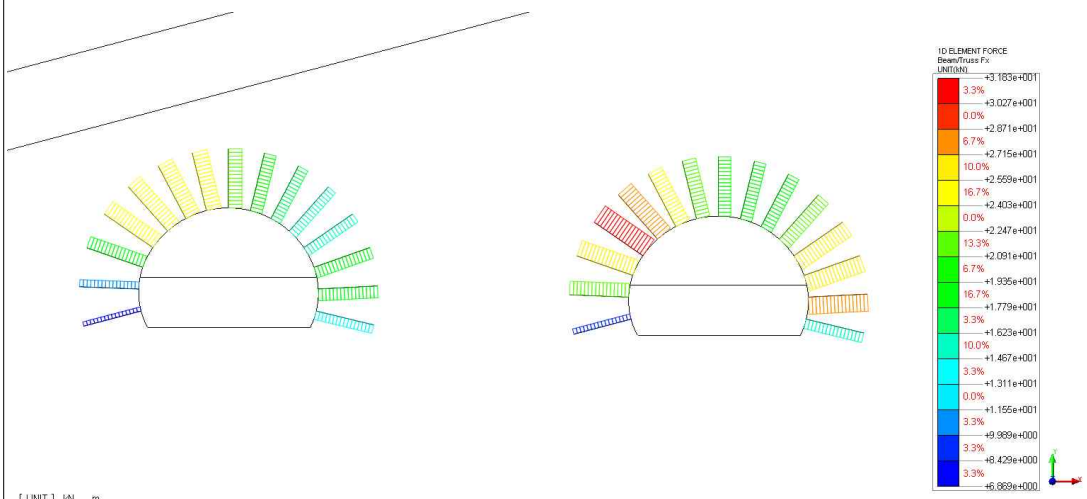
③ 해석결과

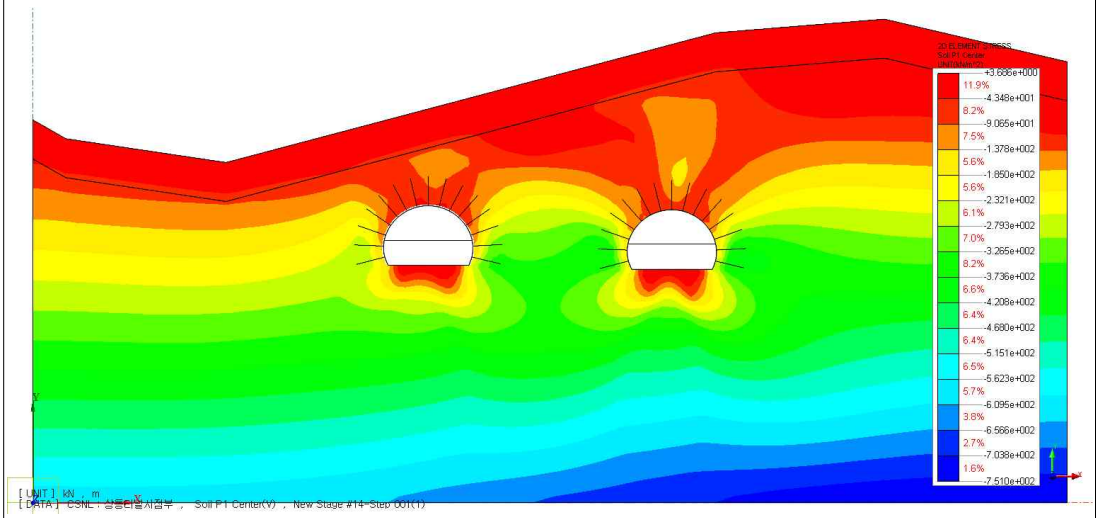
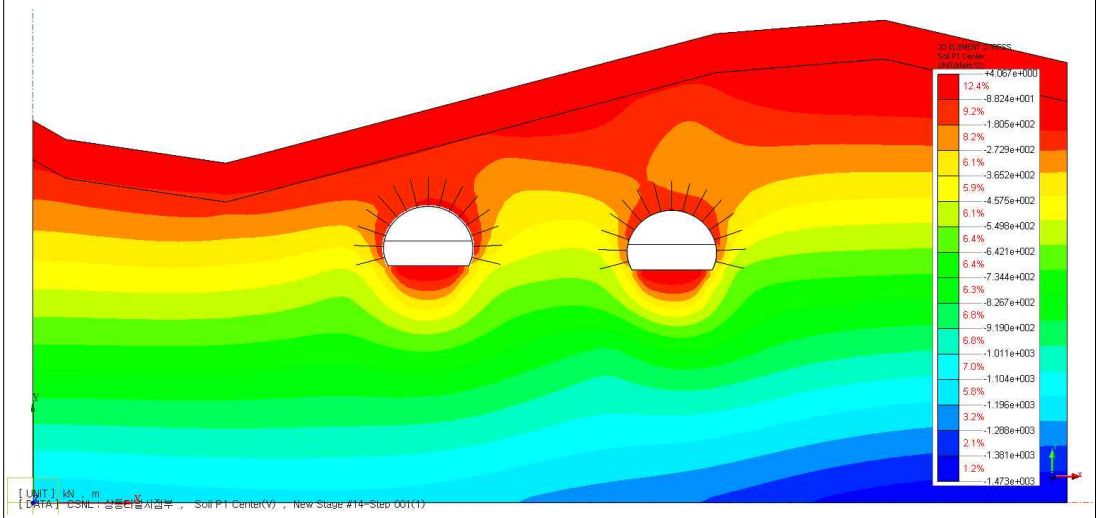
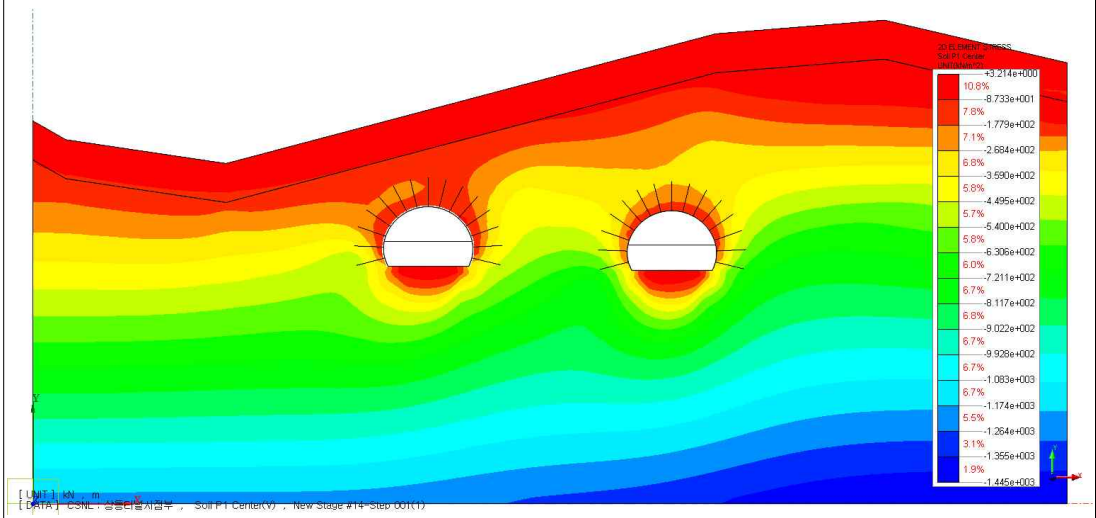
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -2.274㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 2.240㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 5.354MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 31.83N로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

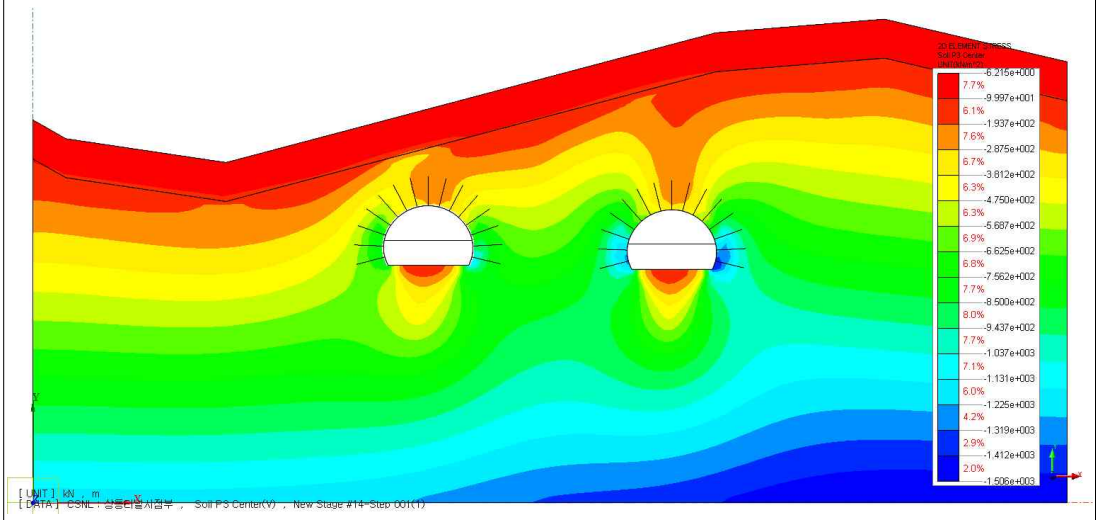
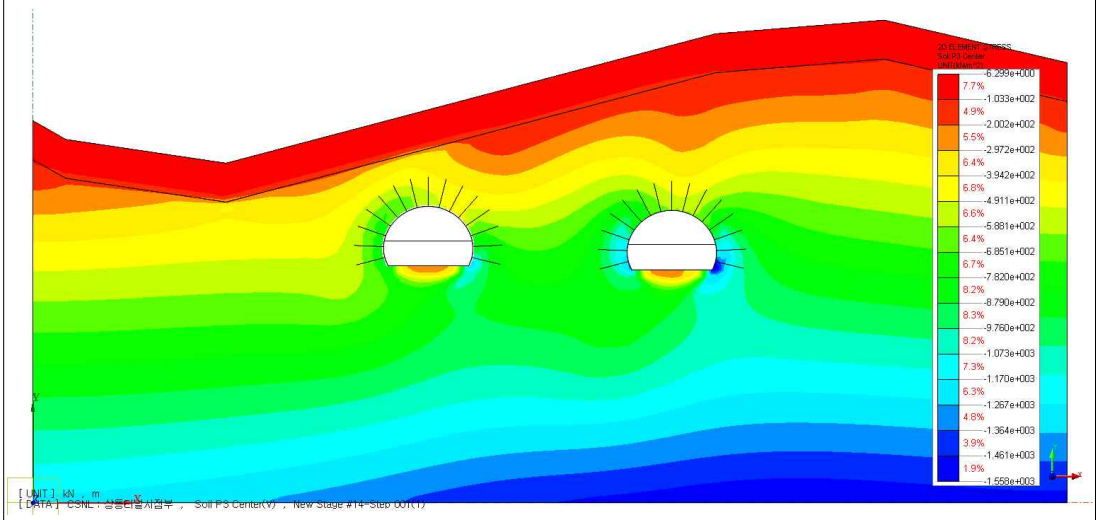
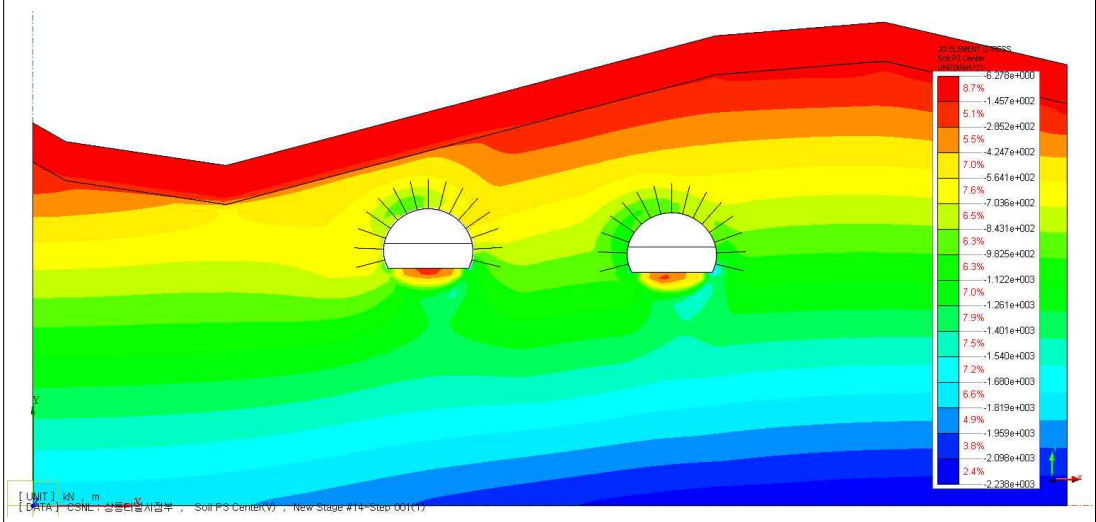
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 휨압축응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 숏크리트 전단응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최대 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.4 결론

3.4.1 무척산터널 시점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.496	-1.560	-1.670
최대 수평변위(㎜)	0.705	1.370	2.216
숏크리트 압축응력(MPa)	3.319<8.400 ∴O.K	3.254<8.400 ∴O.K	4.764<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	25.50<88.70 ∴O.K	23.22<88.70 ∴O.K	26.52<88.70 ∴O.K

- 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

3.4.2 무척산터널 종점부

구분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-2.344	-2.110	-2.274
최대 수평변위(㎜)	0.806	1.469	2.240
숏크리트 압축응력(MPa)	4.632<8.400 ∴O.K	4.555<8.400 ∴O.K	5.354<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	36.32<88.70 ∴O.K	30.42<88.70 ∴O.K	31.83<88.70 ∴O.K

- 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용응력 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

4.1 종합평가 결과

4.2 시설물의 안전등급

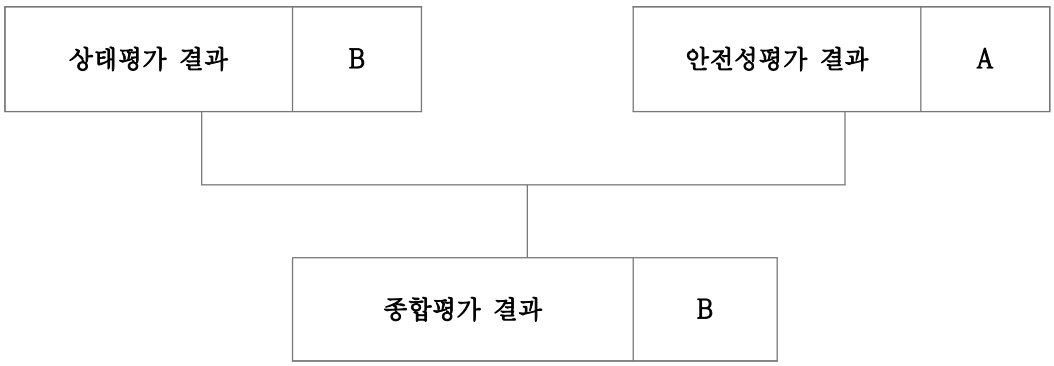
제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

4.1 종합평가 결과

4.1.1 검토 개요

■ 시설물 종합평가 등급은 시설물 상태평가 결과와 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 종합평가 등급으로 결정하므로 대상터널의 종합평가 결과는 「B」로 결정된다.

○ 종합평가 결과 = MIN (상태평가 결과, 안전성평가 결과)



【그림 4.1.1】종합평가 결과 산정

4.1.2 기 점검과의 비교

준공 후 최초 진단으로써 기 점검보고서 등의 자료부족으로 기존 등급과의 비교 및 분석이 불가능한 상태로 향후 정밀안전진단시 금회 진단 결과를 기초로 지속적인 유지관리를 실시하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

【표 4.1.1】종합평가 결과 변화 비교

시행년도	분류	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
금회	정밀안전진단	B (0.194)	A (1.569)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정

4.2 시설물의 안전등급

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

【표 4.2.1】 시설물의 안전등급

구분	안전등급	안전등급의 의미
무척산터널 (부산)	「B등급」 양호	· 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태 · 세부지침의 규정에 의해 산출된 종합평가 등급을 상향하거나 하향시킬 만한 변수가 없음을 의미함.

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안

5.1 개 요

5.2 보수・보강 방안

5.3 보수・보강 개략공사비

5.4 유지관리방안

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안

5.1 개 요

무척산터널(부산)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,062m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.420% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span)+굴착(NATM, 230Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

본 터널은 준공 이후 시설물 유지보수공사 및 하자보수공사 등을 통해 공용 중 발생된 손상에 대한 지속적인 유지관리가 시행되고 있는 시설물이다.

외관조사 결과, 전반적으로 양호한 상태이나 일부 보수를 요하는 손상인 라이닝 구간에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 공동구에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 집수정에 토사퇴적, 포장부에 스폴링, 스캘링, 균열 등의 손상이 조사되었다. 터널의 구조안전성 평가결과, 숏크리트의 최대압축응력 및 록볼트의 최대축력은 모두 허용응력(숏크리트 8.4MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

본 장에서는 정밀안전진단 결과에 의한 결함 및 손상에 대한 원인을 검토하고 그 결과를 토대로 터널의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 보수·보강방법을 제안하고자 한다. 이러한 보수·보강방법의 기본방향은 장기적으로 설계 내하력을 유지시키고 내구성 저하를 방지하는데 그 목적이 있다. 무척산터널(부산방향)의 보수・보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다. 【표 5.1.1】은 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 일반적인 검토사항을 언급하였다.

【표 5.1.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

5.2 보수·보강 방안

5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정

무척산터널(부산)에 대한 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공 시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하여 있는 것으로 조사되었다.

금회 진단은 준공 후 최초 진단으로서 하자대상(철근 콘크리트 및 철골 구조부 손상) 손상을 제외한 기타 손상에 대해서만 보수 우선순위를 부여하였다.

【표 5.2.1】보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	• 구조물의 거동에 지장을 초래하여 구조적인 문제를 유발시킬 수 있는 손상 • 시설물의 안전관리에 관한 특별법」 제12조(중대한 결함)의 “대통령령이 정하는 중대한 결함”에 포함되는 손상 • 철근부식에 의한 내하력 저하가 우려되거나 철근부식 가능성이 있는 손상 • 실용상 지장이 없는 성능까지 회복하여야 할 손상
중장기	2순위	• 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성을 위해 보수가 필요한 상태 • 현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책
	3순위	• 손상이 경미하여 시급성을 요하지 않으나 장기적으로 보수가 필요한 경우
지속관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.2mm이하의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

※ 금회 철근콘크리트 및 철골구조부재의 손상은 하자보수대상임.

무척산터널(부산) 정밀안전진단 결과

상태평가결과

- 상태평가결과 → "B" (0.194)

- 라이닝
  - 철근구간 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 재료분리, 철근노출 등
  - 무근구간 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 보수부 들뜸 등
- 공동구 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 철근노출 공동구 덮개파손 등
- 배수시설 : 집수구 토사퇴적 등
- 포장부 : 스켈링, 스폴링, 균열 등
- 부대시설
  - 피난연락갱 : 폭 0.3㎜이상 균열 등

안전성 평가결과

- 안전성 평가 결과 → "A"

- 숏크리트
  - 압축응력 : 3.254～5.354MPa < 8.400Mpa
  - SF = 1.569

- 록볼트
  - 23.220～36.320KN < 88.70KN
  - SF = 2.442

보수 · 보강 방향

1 순위	2 순위	3 순위
-	-	• 집수구 토사퇴적 • 포장부(LMC) 균열 등

【그림 5.2.1】 보수·보강방안 추진방향

5.2.2 결함내용별 보수·보강방안

【표 5.2.2】보수·보강 일람표

구 분	손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	329.4	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	298.4	m	지속관찰	-
	재균열(0.2㎜이하)	36	m	지속관찰	-
	재균열(0.3㎜이상)	213.5	m	지속관찰	-
	망상균열	35.55	㎡	지속관찰	-
	들뜸/박락	5.38	㎡	지속관찰	-
	재료분리	0.17	㎡	지속관찰	-
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	3.2	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	58.6	m	지속관찰	-
	철근노출	0.18	㎡	지속관찰	-
	들뜸/박락	0.11	㎡	지속관찰	-
	타일 균열/파손	460	개소	지속관찰	-
공동구	균열(0.2㎜이하)	14.6	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	50.2	m	지속관찰	-
	파손	0.4	㎡	지속관찰	-
	공동구 덮개 파손	28	개소	지속관찰	-
	타일 균열/파손	165	개소	지속관찰	-
배수시설	집수구 토사퇴적	16.8	㎡	정비	3
도로부	포장부 스캘링	2.83	㎡	지속관찰	-
	포장부 스폴링	8.93	㎡	지속관찰	-
	포장부 균열	12.9	m	주입보수	3
	길어깨부 스폴링	0.71	㎡	지속관찰	-
피난연결통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	5	m	지속관찰	-

5.2.3 보수·보강 방안

가. 표면처리공법

1) 개요

시설물의 내구성 확보를 위해 폭 0.3mm미만 균열 및 균열백태에 대하여 실시하는 보수 방안으로 공법의 상세 내용은 다음과 같다.

2) 시공흐름도

표면처리, 치핑	콘크리트 열화부위, 균열부 바탕처리
↓	
표 면 청 소	콘크리트 표면처리후 고압살수기를 이용하여 표면을 고압세척한다. (5,000 PSI(350kg/㎠)의 압력).
↓	
표면보호제 도포	표면보호를 위하여 표면보호제를 도포한다. 제품 선정 후 표준 도포량을 확인한다.

3) 보수재료의 선정

【표 5.2.3】 표면보수 재료목록

구 분	방수성 향상	내구성 향 상	균 열 제 어	내하성 향 상
도막탄성방수재	◎	○	×	×
침투성방수제	○	△	×	×
폴리머시멘트모르타르	○	△	×	×
시멘트필라	○	△	×	×
탄소섬유시트	◎	◎	◎	◎
아라미드, 섬유시트	◎	○	◎	◎
유리섬유시트	◎	○	△	△
◎: 우수, ○:양호, △:가, ×:불가				

나. 균열 주입보수

1) 개요

콘크리트 구조물에 0.3mm 이상의 균열이 발생한 경우 콘크리트 균열부분을 깨끗이 청소하고 지수성이 좋은 수지를 주입하여 균열을 충진하고 더 이상의 균열이 발생하지 않도록 하는 작업이다. 에폭시 수지 주입공법을 적용할 때에는 충분한 가사시간과 균열 폭에 적합한 점도를 가진 재료를 선정하는 것이 중요하며 점도는 용재를 넣어 조절 가능하지만 과다하면 접착력이 저하되므로 주의하고 진행 중인 균열의 경우 변형성이 작은 에폭시 수지를 사용하면 보수한 균열 부근에 새로운 균열이 발생하는 경우가 많으므로 주의를 요한다.

2) 에폭시 주입제의 특성

① 습기, 습윤, 수중에서도 시공이 가능하여야 한다.
② 방청효과가 뛰어나야 한다.
③ 오염이나 독성이 없어야 한다.
④ 내마모성이 뛰어나야 한다.
⑤ 콘크리트 탄산화방지가 있어야 한다.

3) 시공방법 및 유의사항

① 기존 콘크리트 표면의 균열부위를 공기압축기를 이용하여 이물질을 깨끗이 제거한다.
② 공기압축기 사용시 압력을 적절히 조절하면서 사용하고 분진 및 먼지 등이 발생되므로 보호안경을 착용하도록 한다.
③ 균열부위를 전동커터를 이용하여 V-CUTTING하며 커팅시 분진 및 파편이 발생되므로 보호안경을 착용하고 작업에 임한다.
④ 균열부위에 좌대 및 주입기를 20 ~ 30cm 간격으로 균열 폭에 맞추어 설치한다.
⑤ 균열부위에 틈이 없도록 수성폴리머 몰탈 또는 퍼티로 밀실하게 충전한다.
⑥ 기온이 5℃ 이하에서는 작업을 중지해야 한다.
⑦ 주입파이프를 통하여 저점도 에폭시 주입재를 주입한다.
⑧ 주입재 주입이 완료된 후 12시간이상 경화된 후 주입좌대를 제거한다.
⑨ 비가 예상되거나 습도가 80%이상일 경우, 안개가 심한 경우 작업을 중지하여야 한다.
⑩ 공사 완료 후 시공도구 및 배합통 등은 바로 세척한다.
⑪ 주입용 파이프 설치 시 균열의 교차점은 반드시 설치한다.
⑫ 균열의 중심부와 주입용 파이프의 중심부는 완전히 일치시켜 부착한다.

4) 보수 재료의 선정

【표 5.2.4】KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지)

항 목	기준치	항 목		기준치	시험방법
배합비	주제 : 경화제 (3:1 이상)	접착 강도	표준조건	6.0N/㎟ 이상	KS F 4923
			습윤시	3.0N/㎟ 이상	
외관색상	혼합시 투명	인장강도		15.0N/㎟ 이상	
점도(mPs·s)	130~260±50	경화수축율		3% 이하	
가시시간	상온 60분±10	인장파단시 신장율		10% 이하	
지속경화시	상온 14시간±5	완전 경화시간		24~36시간	-
- 경질에폭시 중에서 점도가 100~1000mPs·s인 에폭시를 저점도 에폭시라 함 - 초저점도 조건에서도 상기의 접착강도 및 인장강도를 만족하여야 함					

5) 시공흐름도



주입은 저압 저속의 주입공법이 주요하며, 저압·저속의 주입공법은 주입량 파악이 쉽고 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있다. 이 공법은 균열위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 압입하는 방식은 【표 5.2.5】과 같다.

【표 5.2.5】저압·저속식 주입방법

압입방식	용기의 형태
압축용기에서의 압축공기로 주입	플라스틱제의 실린더
압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	플라스틱제의 압력탱크
고무시트의 복원력으로 주입	플라스틱제 틀에 고무시트를 고정
고무풍선압으로 주입	고무풍선
고무밴드의 복원력으로 주입	플라스틱제 실린더와 피스톤
캡슐내의 용수철로 주입	플라스틱제 캡슐 탱크

이 공법을 적용함에 있어서는 시공위치, 시공시기에 맞는 작업시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하고, 균열폭에 알맞은 수지의 점성도는 【표 5.2.6】과 같으며, 일반적인 주입파이프의 간격은 【표 5.2.7】과 같다.

【표 5.2.6】균열폭에 알맞은 수지의 점성도

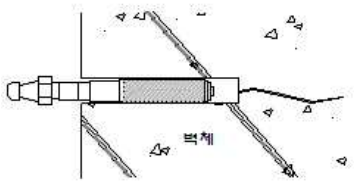
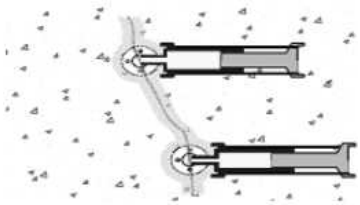
형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【표 5.2.7】일반적인 주입파이프의 간격

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

이 공법은 다음과 같은 특징이 있다. 수지가 들어있는 용기를 균열위에 설치하므로 사람의 손을 필요로 하지 않고, 용기높이의 저압력에 의해 자동으로 주입 되므로 압력에 의한 실링부의 파손도 작아 시공관리가 용이하다. 그리고 주입되는 수지의 거동은 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 방생되지 않는다. 주입압력은 4kg/㎠ 이하로 규정되어 있으나 실제로는 사용할 수 있어, 습윤환경에서 사용 가능하다. 반면, 주입기에 여분의 주입재료가 남아 재료의 손실이 큰 단점이 있다.

【표 5.2.8】 균열주입공법 비교

구분	고압주입공법	저압주입공법
공법개요	• 균열부를 천공하여 팩커를 삽입한 후 주입펌프를 사용하여 균열 내부로 에폭시 수지를 강제로 주입하는 공법	• 균열부에 좌대를 부착시키고 고무줄 또는 스프링 주사기에 에폭시를 주입한 후 균열 내부로 에폭시수지를 주입하는 공법
개요도		
특징	• 주입방법 : 패커에 의한 주입 • 주입압력 : 고압	• 주입방법 : 좌대+고무줄 or 스프링 • 주입압력 : 저압
장점	• 단기간 작업 가능 • 누수균열 보수 시 적합	• 저압으로 균열 확장 없음 • 적용 실적이 많음
단점	• 주입량 조절이 어려움 • 시공 부위에 제한을 받음 • 천공 시 균열 내부가 막힘 • 주입 시 균열이 확장될 수 있음 • 미세 균열 주입이 어려움	• 주입량 조절이 어려움 • 주입재의 재주입이 어려움 • 다량의 폐기물이 발생됨 • 보수에 장시간이 소요 • 습윤부위 시공시 효과 떨어짐
경제성	△	◉
시공성	△	◉

다. 단면보수공법(철근 노출부)

1) 개요

이 공법은 콘크리트의 박리, 박락 등에 의하여 철근의 노출 및 부식에 대한 보수공법으로 녹을 제거하고 단면결손부를 회복시키는 공법이다.

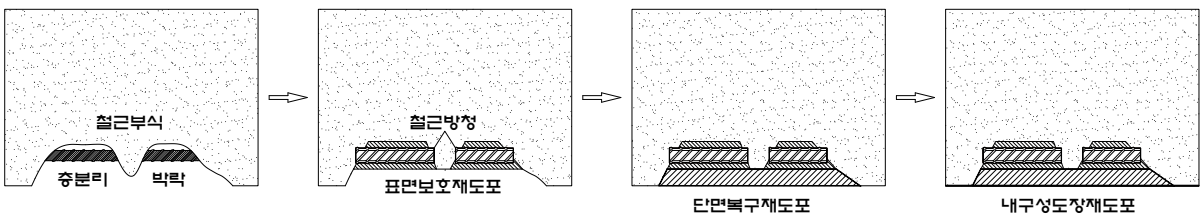
2) 시공방법

① 청소 및 녹제거
- 콘크리트 건전부까지 치핑한다.
- 발청된 부분을 진동 블라스트 등으로 온전히 제거한다.
- 기타 이물질을 청소 제거한다.

② 단면복구
- 건전부 콘크리트에 침투제를 도포한다.
- 철근에 방청 처리를 한다.
- 콘크리트 결손부위에 방청 페이스트를 충전한다.

③ 마감처리
- 주입 파이프 절단
- 그라인더 등을 이용한 면 정리

3) 개요도



【그림 5.2.2】 철근노출부 단면복구 개요도

4) 사용재료

녹전환형 방청제, 수지계 방청재, 몰탈, 시멘트, 팽창제

5) 주의사항

① 신, 구접착에 주의하여 2차 박락을 방지한다.

② 불량면을 확실하게 제거한다.

③ 침투제 및 방청제의 도포를 충분히 한다.

④ 필요시 형틀을 설치한다.

⑤ 주입 파이프의 간격을 일정하게 한다.

라. 단면보수공법(철근 비노출부)

1) 개요

이 공법은 열화 된 구체를 강화하고 단면결손부에 대하여 조강 무수축 몰탈로 단면을 수복시키는 일반적인 공법이다.

2) 시공방법

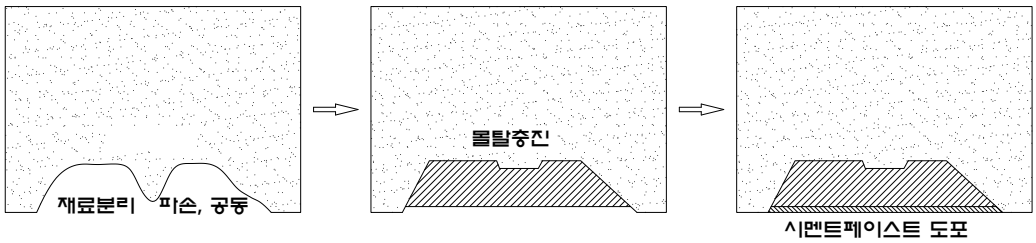
① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.

② 고압세척 및 콘크리트 접착제 도포 - 고압세정기 사용하여 이물질제거

③ 몰탈충진 - 몰탈로 단면복구

④ 표면처리 - 시멘트페이스트 등 도포

3) 개요도



【그림 5.2.3】 재료분리, 파손 단면복구 개요도

4) 결손 단면복구용 재료 성질

① 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것

② 부착력이 높은 재료

5) 주의사항

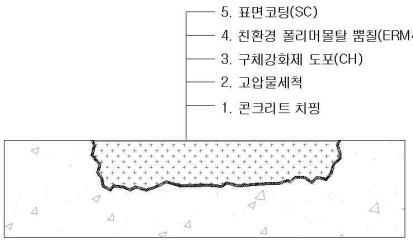
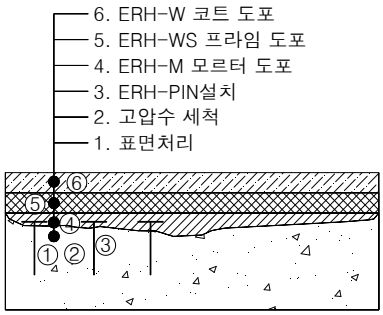
① 고압세정기의 용량은 50 ~ 150 kg/㎠를 사용

② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

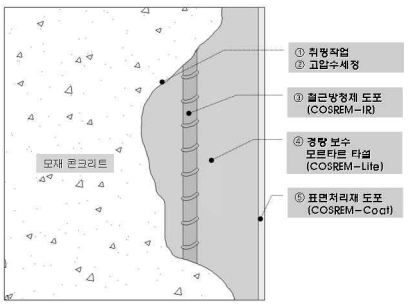
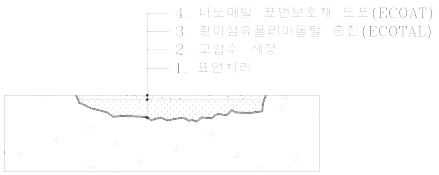
6) 콘크리트 충진

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

【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교

신기술 명칭	E.R.M 공법 (신기술 제 576호)	에코플래시공법 (신기술 제 577호)
공 법 개 요	• 친환경 모르타르와 급결제용 날개식 이중 분사장치 및 원추형 노즐로 구성된 스프레이 장비를 이용한 콘크리트 구조물 급속 보수공법	• 접착보강핀을 설치하고 미세분말 플라이애시 및 삼산화규산칼슘 섬유가 혼입된 모르타르를 회전돌기형 믹싱샤프트건에 의해 건식분사하는 콘크리트 단면보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 건설폐기물인 순환골재를 활용하여, 급결제 사용에 따른 초기강도의 감소현상을 저감시키기 위해서 알카리 무기염계를 이용한 친환경 모르타르를 사용하는 공법	• 중성화, 염해, 동해 및 화학적 부식등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식 스프레이를 이용하여 화학적, 물리적으로 개보수하고 접착보강핀을 추가하여 장기부착강도를 증진시킨 보수공법
장 점	• 무기계 재료로 기존구체와의 일체화 • 급결제(필요시) 및 알칼리 무기염계 사용으로 초기부착강도 확보 • 스프레이시 리바운드가 적다 • 산업부산물 사용으로 친환경적 • 내구성능 우수 • 1회 최대 300mm 시공으로 작업시간 단축(요구시)	• 무기섬유 혼입에 의한 물리적 특성우수 • 화학적 부식 및 중성화에 저항성 우수 • 기계화(건식스프레이)시공을 통한 우수한 품질과 공기단축 • 천연재료의 사용으로 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 재손상 발생가능 적음 • 물리적 접착보강핀을 통한 장기부착 강도 확보 • 무기코트재료에 의한 표면피복
단 점	• 5℃이하 작업어려움 • 기계화시공으로 숙련공이 필요	• 공정이 다소 복잡하여 시공전문가 필요 • 기계화 시공시 습식스프레이에 비해 분진 발생이 많음

【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교(계속)

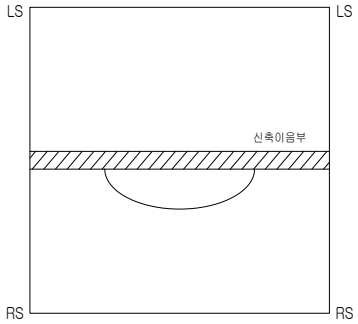
신기술 명칭	COSREM 공법 (신기술 제 596호)	에코텍트 공법 (신기술 제 642호)
공 법 개 요	• 경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수공법	• 황마섬유 혼입 폴리머 모르타르와 나노메탈 함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리머 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호재를 항온 정량 배합 분사 장비로 균일하게 분사하여 내구성을 확보하는 콘크리트 보수공법	• 몰탈 미세 기공에 1㎛이하의 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 조직을 치밀하게 하며, 유리 전이온도가 낮은 에멀젼을 사용하여 유연성과 탄성을 유지하여, 장기 내구성을 유지하는 열화 콘크리트 보수 공법
장 점	• 내화학성, 중성화 방지, 내후성 및 내염성이 우수, 부착력 및 내구성 우수 • 스프레이 장비와 인력 시공에 대한 현장구애를 받지 않으므로 시공성 향상 • 난연성1급 재료, 화재시 안전성 확보함 • 내굴곡성(신율)이 좋아 구조물 의 진동(거동) 변화에도 표면에 균열이 발생하지 않음 • 친환경 내후성 도료(ECOAT)임	• 조직이 치밀하여 내구성 및 강도 우수 • 동절기에도 유연성과 탄성을 지녀, 내구성 유지 • 동결 융해의 피해 최소화 • 부착강도 우수 • 몰탈 경량화로 자재량 절감 • 시공절차가 간단하며, 경제성이 우수 • 친환경 표면보호재를 사용
단 점	• 최신기술 적용공법으로 정밀시공 요함 • 실적 부족	• 시공에 대한 기초 지식이 필요함

마. 단면정리(반원형균열(박락우려) 탈락예상부 처리방안)

1) 개요

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

2) 보수방법



천단부 반원형균열

- 콘크리트 깨기 후 표면정리

3) 시공순서

사전조사 - 손상현황 및 범위결정

↓

시공계획 수립 - 제작도 작성

↓

단면 결정 - 필요한 제원결정

↓

손상부 단면정리(털어내기) - 이물질 제거 및 박락우려부 제거

5.2.4 보수 후 성능평가 방법

보수를 실시한 후 아래에서 제시하고 있는 방법으로 보수 후 성능평가를 실시하여 보수공사가 적합하게 이루어져 있는가를 검사하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

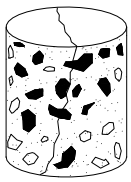
보수공사 후 평가는 구조상 문제가 되지 않는 부분에서 작은 지름의 코어를 채취하여 보수효과를 확인을 행하는 것이 좋다. 또는, 구조물에 대한 보수에 의한 방수효과를 비파괴적으로 확인하는 방법으로서는 가스압입 누수진단기나, 방식효과에 대해서는 전기 화학적인 방법인 분극저항 측정법 등이 제안되고 있다.

가. 코어채취에 의한 평가 방법

1) 콘크리트 코어강도

KS F 2422

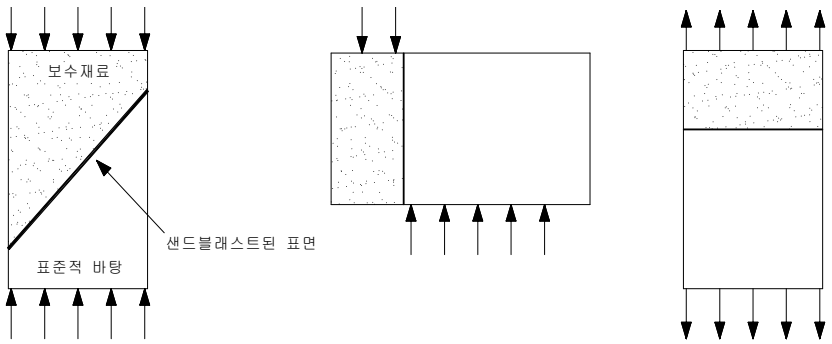
2) 육안에 의한 주입효과 평가



· 주입효과를 위해 채취된 콘크리트 코어

- 외국의 연구결과에 의하면 균열깊이 80% 주입만으로도 거의 완전한 주입효과를 나타낼 수 있다고 보고되고 있어 최소한 균열깊이의 80% 이상 주 입이 권장된다.

3) 실내시험에 의한 평가



경사전단시험 직접 전단 시험 일축인장시험

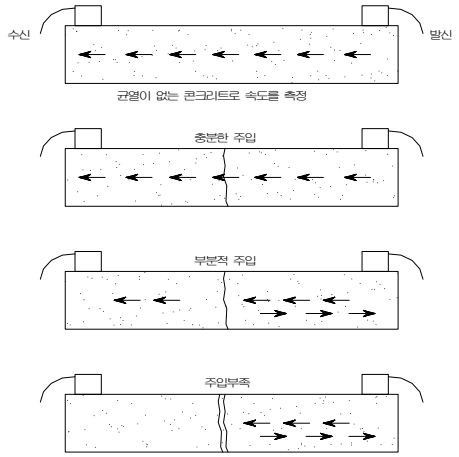
① 경사전단 시험 : 경제적이고 쉬움(부착강도=파괴하중/부착면적)관련 시험법
(ASTM C 881~884, ASTM C 1042, 1059)

② 직접전단 시험 : 시험실과 현장 어느 곳의 공시체도 측정가능관련 시험법
(BNL직접전단, IOWA 직접전단)

③ 일축인장 시험 : 현장의 콘크리트와 덧씌우기의 부착강도를 측정하는 시험방법
관련 시험법(BNL직접전단, IOWA 직접전단)

나. 초음파신호 속도(UPV) 시험

초음파 전달속도 측정에 의한 보수효과의 평가는 아래 그림과 같다.



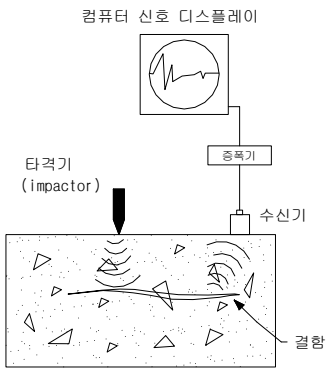
① 균열이 없는 콘크리트 단면에 초기화 (calibration)를 행한다.

② 송신 수신장치는 일정간격 고정한다.

③ 주입된 균열 콘크리트와 균열이 없는 콘크리트는 같은 전파속도를 갖는다.

④ 주입이 되지 않은 균열 부위는 작은 초음파 전파속도를 보인다.

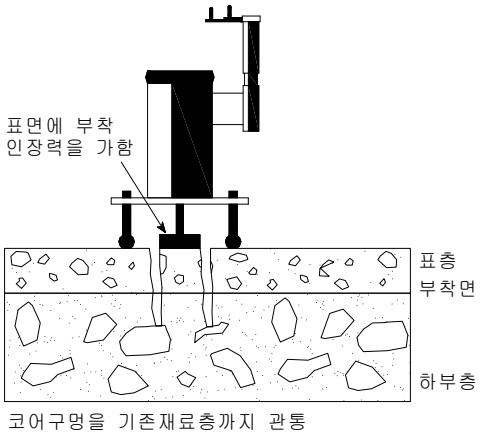
다. 충격음(Impact echo)법

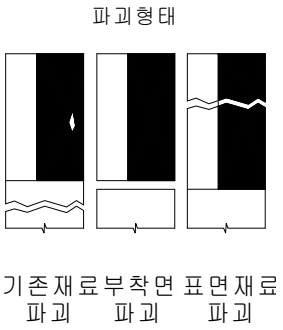


· 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 아래 그림과 같이 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 준다. 보수효과는 보수전과 후의 측정값의 차이와 건전면에서 측정된 값의 비교를 통하여 확인할 수 있다.

라. 현장 부착강도 시험

덧씌우기나 표면접착제의 부착강도는 인발시험(pull-off test)과 같은 현장시험으로 판정할 수 있다. 코어를 기존재료에 부착되어 있는 상태로 둔 채, 인장기구를 코어에 연결하여 파괴될 때까지 하중을 구한다. 보수한 부분을 바로 평가하여 보수공사를 조정할 수 있는 장점이 있다.





5.3 보수·보강 개략공사비

【표 5.3.1】보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
라이닝 (천단부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	329.4	82.35	㎡	49	4,035	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	298.4	298.40	m	130	38,792	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	36	9.00	㎡	49	441	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	213.5	213.50	m	130	27,755	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	35.55	35.55	㎡	130	4,621	-	주입보수
	들뜸/박락	지속관찰	5.38	8.07	㎡	215	1,735	-	제거 및 단면보수
	재료분리	지속관찰	0.17	0.26	㎡	215	54	-	단면보수
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	3.2	0.80	㎡	49	39	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	58.6	58.60	m	130	7,618	-	주입보수
	철근노출	지속관찰	0.18	0.27	㎡	232	62	-	단면보수(방청)
	들뜸/박락	지속관찰	0.11	0.17	㎡	215	35	-	단면보수

【표 5.3.1】 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위	비고
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	14.6	3.65	㎡	49	178	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	50.2	50.20	m	130	6,526	-	주입보수
	파손	지속관찰	0.4	0.60	㎡	215	129	-	단면보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	28	28.00	개소	100	2,800	-	공동구 덮개 재설치
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	16.8	25.20	㎡	80	2,016	3	-
	포장부 균열	주입보수	12.9	12.90	m	130	1,677	3	-
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	5	5.00	m	130	650	-	주입보수
순공사비 합계(천원)							99,163		
제경비(순공사비×50%)							49,582		
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위					-		
		2순위					-		
		3순위					5,540		
		지속관찰					143,205		
유지보수 개략공사비 총계							148,745		

※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 철근노출 단면복구 → 30㎜(잡철물 제외)
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 2015년 하반기 현장조사시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.

5.4 유지관리 방안

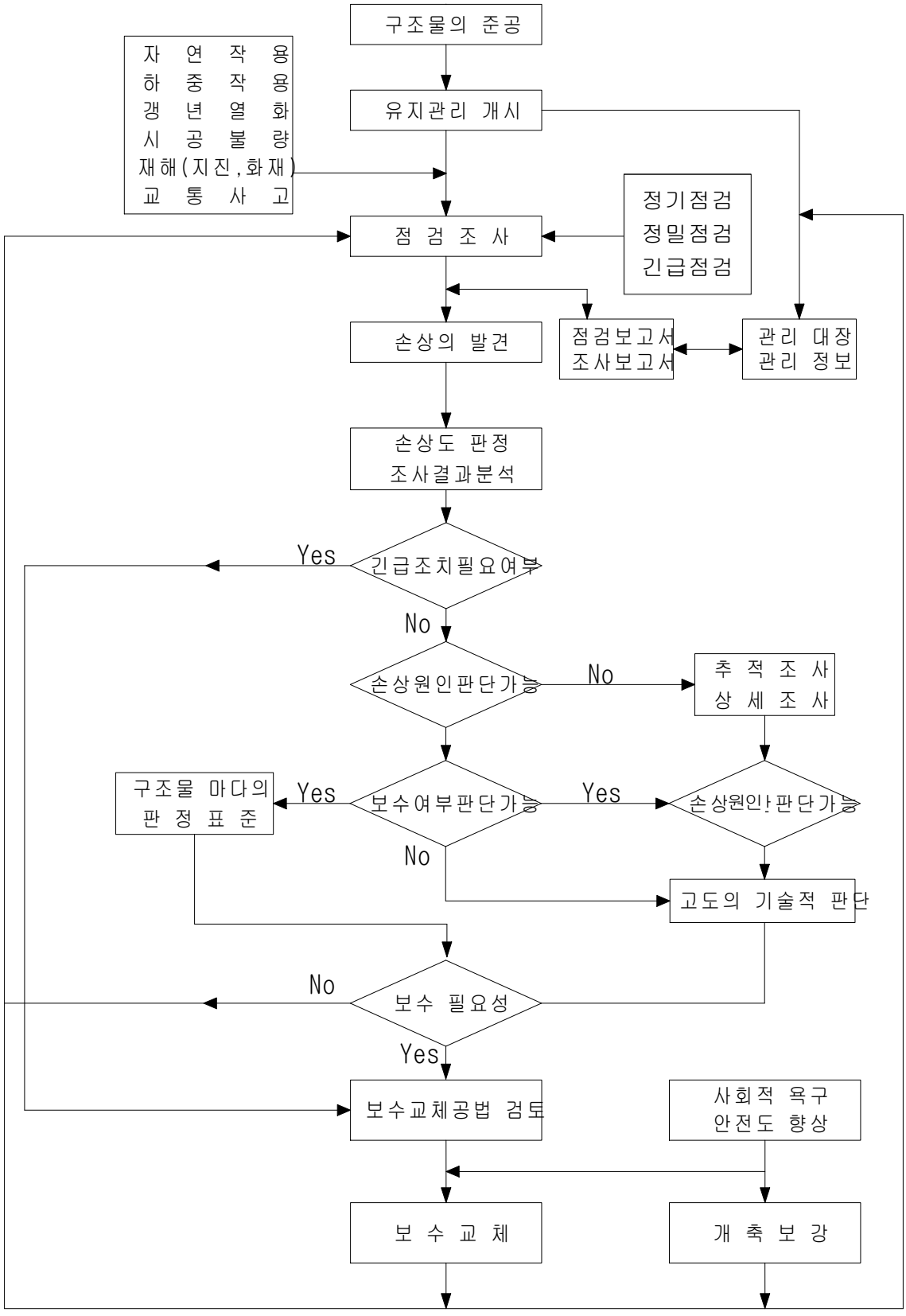
공용중인 시설물은 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인하고 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 이루어지도록 체계적인 유지관리가 필요하다. 시설물에 발견된 결함은 보수시기를 놓치면 손상 증대로 보수가 어려울 뿐만 아니라 보수비용 증대, 보수기간 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 되어 지속적인 유지관리는 매우 중요하다.

따라서 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복구하여야 하며, 시간 경과에 따라 시설물의 개량, 보수·보강을 실시하여 건전성을 유지토록 하여야 하며 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 정밀점검을 실시하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

5.4.1 유지관리 일반

시설물의 유지란 건설된 시설물이 제 기능을 유지하기 위하여 정기점검, 정밀점검, 긴급점검 및 정밀안전진단을 통하여 사전에 유해요인을 제거하고, 손상된 부분을 원상복구 하여 당초 건설된 상태를 유지함과 동시에 경과시간에 따라 요구되는 시설물의 개량과 시설을 추가함으로서 이용자의 편의와 안정을 도모하기 위한 목적으로 시행하는 것이다.

시설물 유지관리는 사후 유지관리와 예방 유지관리로 분류할 수 있다. 사후 유지관리는 문제가 발생된 후 보수 또는 보강하는 방식이고, 예방 유지관리는 문제발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 적절한 조치를 취함으로써 문제발생을 예방하는 방식이다. 과거에는 보통 사후 유지관리가 대부분이었으나, 오늘날은 기술 및 장비의 발달로 예방 유지관리를 지향하고 있으며, 이를 통한 시설물의 안전성 및 사용성 확보에 그 목적이 있다. 유지관리를 효율적으로 하기 위해서는 아래의 항목에 대해서【그림 5.4.1】에 따라서 수행하는 것이 바람직하다.



【그림 5.4.1】 유지관리 흐름도

가. 자료관리

자료관리는 대상구조물이 처해있는 상황을 문서를 통하여 객관적으로 확인할 수 있도록 하기 위한 자료를 관리하는 업무를 말하며, 일반적으로 설계도서, 구조물대장, 보수·보강관리대장, 사고이력 등의 자료를 정리·관리하는 일을 말한다. 자료는 구조물의 점검, 보수·보강시마다 계속 증가하므로 수정이 편리하도록 작성되어야 하며, 이런 점에서 볼 때 관련 내용을 전산화하여 관리하면 효율적이다.

일반적으로 구조물의 유지관리시 필요한 관련 자료를 열거하면 다음과 같다.

◦ 설계도서(시공 및 보수 도면, 구조계산서 등)

◦ 공사내역서 및 시방서

◦ 보수·보강이력

◦ 사고기록, 점검 및 진단이력

◦ 사진 및 시험결과

◦ 시설물 관리대장

◦ 상태 및 안전성 평가기록

나. 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.

다. 점검 및 진단(예방 유지관리)

점검은 구조물의 현상을 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 정밀안전진단을 실시한다.

라. 보수 및 보강(사후 유지관리)

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.

5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목

본 구조물의 공용기간 중에는 점검주기 및 주요 조사항목, 등급별 실시주기에 따른 지속적인 점검을 실시하여 시설물의 안전성과 내구성을 유지하여야 할 것으로 판단된다.

【표 5.4.1】 점검주기 및 주요 조사항목

점검종류	점검주기	주요 조사항목
정기점검	반기 1회	◦재료분리, 철근노출, 박리, 균열, 박락, 사용하중, 누수 등에 관하여 전회 점검 이후 변형, 변위 발달상태 ◦손상의 지속유무 확인(누수, 균열, 변형 등)
정밀점검	안전등급에 따라 차등실시	◦설계도서 검토 ◦형상검사(규격, 변위, 변형, 침하 등) ◦상태검사(파열, 손상, 부식, 균열, 누수, 열화 등) ◦현장시험·측정(강도, 철근, 피복, 철근부식, 중성화 등) ◦전회의 정기점검 및 정밀점검시와 비교하여 손상의 진행여부 판단 ◦보수, 보강시공 상태의 확인(필요시)
긴급점검	필 요 시	◦손상의 정도, 보수의 긴급성, 보수작업의 규모, 주요 보조부재의 내하력, 사용제한 여부 등
정밀 안전진단	안전등급에 따라 차등실시	◦구조물의 노후화, 손상정도, 초기 및 점검 상태로부터의 변화 확인 ◦구조해석 및 안정성 평가 ◦정기점검 및 정밀점검 결과 분석

※ 정밀점검 및 정밀안전진단 실시주기
(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 : 국토해양부, 한국시설안전공단. 2010.12)

【표 5.4.2】 등급별 실시주기

안전등급	정밀점검		정밀안전진단
	건 축 물	그 외 시설물	
A등급	4년에 1회 이상	3년에 1회 이상	6년에 1회 이상
B, C등급	3년에 1회 이상	2년에 1회 이상	5년에 1회 이상
D, E등급	2년에 1회 이상	1년에 1회 이상	4년에 1회 이상

※ 건축물에는 그 건축물의 부대시설인 옹벽과 절토사면을 포함하며, 항만시설물 중 썰물시 바닷물에 항상 잠겨있는 부분은 4년에 1회 이상 정밀점검을 하여야 한다.

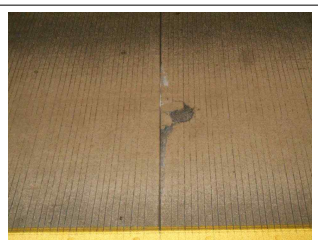
※ 최초로 실시하는 정밀점검은 시설물의 준공일 또는 사용승인일(임시 사용승인 포함)을 기준으로 3년이내(건축물은 4년 이내)에 실시하여야 한다.

※ 정밀점검 또는 정밀안전진단을 받은 경우 그 날(완료일)을 기준으로 정밀점검의 실시주기를 정한다. 또한 정밀안전진단 실시 기간과 중복되는 경우에는 생략할 수 있다.

5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항

금회 정밀안전진단 결과, 무척산터널(부산)은 라이닝 구간에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 공동구에 균열, 철근노출, 들뜸/박락, 집수정에 토사퇴적, 포장부에 스폴링, 스캘링, 균열 등이 다수 조사된 상태이며, 손상진전을 방지하고 구조물의 내구성 확보를 위해 관리가 요구된다.

【표 5.4.3】부재별 유지관리 중점사항

부재구분	중 점 점 검 내 용	관련사진
라이닝	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부 - 신축이음 주변 단면손상부 탈락 여부에 대한 주의관찰	 라이닝 균열(S36, 천단부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(파손) 손상 확대 여부	 균열(S53)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스폴링(S202)

5.4.4 부위별 점검요령

가. 개착구간

구분	점검항목		점검장비
일반사항	종방향균열	- 위치, 길이, 균열폭, 방향 및 연속성 - 지하수의 유출 여부 - 필요시 철근탐사(간격, 피복두께) 실시	- 카고크레인 - 카메라 - 필기도구 - 줄자 - 망치 - 써치랜턴
	횡방향균열	- 위치, 길이, 균열폭 및 간격 - 균열의 연속성, 단차 발생 여부	
	사방향균열	- 위치, 길이, 균열폭, 방향 및 연속성	
	망상균열	- 위치, 배면 누수 및 백태 손상의 추가 발생 여부	
	누수 및 백태	- 누수 위치 및 규모, 2차 손상	
	단면결함	- 발생 규모, 깊이 조사 - 부식 철근의 상태 및 종류 조사 (인장·압축철근 및 배력철근) - 박리 박락, 층분리, 백태, 동해, 파손, 오염 등에 대한 현황조사 - 배수 및 소제구 상태 - 각종 표지판 부착상태	
○ 중점점검 사항		- 천장부 및 벽체 종방향 균열 - 발생된 균열의 진행성 여부 조사 - 시공이음부 주변 누수, 백태 - 결함 보수개소의 효과 조사	

나. NATM구간

1) 갱문

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

2) 라이닝

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

3) 라이닝 접속시설

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

제 6장 종합결론

제 6장 종합결론

무척산터널(부산방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 김해시 상동면 여차리～생림면 안양리에 위치하고 있으며, 연장 2,062m, 폭 10.6m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 곡선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (-)0.420% 이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(종점 7Span)+굴착(NATM, 226Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시시점측 갱문은 면벽식, 종점측 갱문은 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱2개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

본 과업은 준공 후 최초로 실시하는 정밀안전진단이며, 설계 및 시공자료와 유지관리자료를 분석한 후 과업수행계획에 따라 외관조사, 내구성 조사 및 시험 등의 현장조사를 실시하였고, 설계도서와 현장조사의 결과를 토대로 구조안전성을 평가하였으며, 정밀안전진단결과를 요약・정리하면 다음과 같다.

가. 외관조사 결과

1) 터널 시점부 주변 조사 결과

- 터널 시점부 사면은 전반적으로 양호하나 일부 구간에 녹생토 유실, 터널 배면 사면부에 표층유실이 조사되었으나 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다. 사면의 부분적 녹생토 및 표층유실은 사면의 안정화 단계에서 일어날 수 있는 손상으로 대부분 자연적으로 손상부의 수렴 및 안정화가 이루어지므로 보수보다는 주의관찰이 바람직하다.
- 갱문 출입구는 양호한 상태로 조사되었고, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 배면의 우수처리를 위해 배수로가 설치되어 있으며, 균열, 이물질 퇴적 등이 조사되어 내구성 확보를 위해 균열부에 대해 주입보수를 실시하고, 이물질 퇴적 손상은 원활한 배수처리를 위해 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 우측면 전면부 사면은 암반 노출로 일부 뜬돌 발생 및 낙석이 발생되었으나 높이가 낮아 도로부 측으로 영향을 미치지 않는 것으로 조사되어 낙석에 대한 지속적인 주의관찰 및 유지관리가 바람직한 것으로 조사되었다.

- 터널 종점 배면부는 도로가 위치하고 법면이 완만하게 위치하여 특이한 이상징후는 조사되지 않았으나, 배면부 지하수 유출 및 표층유실이 조사되었다. 지하수 유출은 배면부 지하수 형성에 의한 손상으로 현재 유도배수관을 설치하여 관리하고 있으며, 표층유실은 기 발생 손상으로 점검시 안정화가 이루어진 것으로 조사되어 주의관찰이 바람직한 것으로 조사되었다.
- 갱문은 면벽식으로 면벽 및 주변 옹벽부에 대한 조사 결과, 손상이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동 등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 갱문 배면부에 설치되어 있는 배수로는 초기 이물질 퇴적이 조사되었으나 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-1 구간이 단위 m당 균열연장 0.7m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다. NATM 구간의 균열은 Span.No.101～112 구간에서 높게 나타났으나 확폭구간, 지반불량 구간 등 특정 위치에 균열이 집중되지 않고 임의 구간에 균열 발생 밀도가 높은 점을 고려할 때, 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 균열이 발생된 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면보수가 바람직하다.
- 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타난 갱구부 구간의 종균열은 연단부에서 일정간격으로 발생된 점을 고려할 때, 시공초기, 거푸집 탈형시기, 바람 및 습도, 온도 등 복합적 원인에 의해 균열이 발생되고, Span 및 홀 주변의 불연속 단면으로 인한 응력 흐름 단절로 균열이 확대・진행된 손상으로 판단되며, 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며, 일정한 형태가 없이 불규칙하게 발생된 균열로, 건조수축 및 대단면 터널의 콘크리트 타설시 타설 흐름부에서 발생된 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- NATM구간 일부 벽체 하단부에 공동구의 정착철근이 덮개부족에 의해 노출된 것으로 조사되어 내구성 확보 및 손상확대 방지를 위해 단면보수 실시가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리, 파손 등의 단면 손상이 조사되어 구조물의 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하며 들뜸부 콘크리트는 콘크리트 낙하시 사고위험이 있어 주의 시공이 바람직하고 재손상 방지를 위해 정밀시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 원활한 유지관리를 위해 보수 계획 수립 후, 손상된 공동구 덮개 보수 실시가 바람직하다.
- 공동구에서 조사된 균열은 수직 형태의 온도 및 건조수축 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 주의관찰토록 한다.
- 파손 손상은 공동구 덮개 설치시 발생된 손상이 공용중 온도변화에 의한 신축거동 등 환경적 요인에 의해 확대 진행되어 발생된 손상으로 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.

5) 배수시설

- 배수시설은 대부분 지하에 매설되어 육안 확인이 가능한 집수구, 집수구를 통한 스파이럴 씸닥트(Ø300)관 상태에 대해 점검결과, 대부분 양호한 것으로 조사되었으나 집수구에는 이물질 퇴적이 조사되었으므로, 원활한 배수 처리를 위해 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

6) 도로부(포장면)

- 무척산터널(부산방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 포장면 균열은 초기 발생 균열이 공용증가 및 차량 하중작용에 의해 확대·진행된 손상으로 차량하중에 의해 지속적 손상확대가 우려되므로 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 무척산터널(부산방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으나, 피난연결통로 일부 구간에 시공미흡에 의한 바닥판 균열이 조사되어 내구성 확보를 위해 균열부 주입보수 실시가 바람직하다.

나. 내구성 시험 및 측정 결과

- 콘크리트의 내구성 시험결과 콘크리트의 강도는 설계기준강도(라이닝 : 24MPa)를 상회하며, 철근배근상태는 설계치에 근사한 것으로 조사되었다.
- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화 잔여깊이는 대부분 30.0㎜이상으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식발생의 우려가 없는 "a" 상태로 건전성을 유지하고 있는 것으로 조사되었다.
- 염화물함유량 시험결과, 염화물이 함유되어 있으나 부식발생 가능성 낮은 상태인 "b" 이상으로 평가되었다.
- 철근구간에서 균열깊이 시험을 실시한 결과, 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되어, 내구성 확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단된다.
- 종단 및 횡단 측량 결과, 다소의 오차가 발생하였으나, 오차범위가 경미하고 오차 발생에 따른 2차 손상이 발생되지 않아 시공 및 측정시 발생된 오차로 판단되며 대체로 설계치와 유사하게 측정되었다.
- 무척산터널(부산) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 120m마다 횡방향으로 G.P.R탐사를 실시한 결과, S51, S104, S128구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 측정되었으나 라이닝에 특이한 손상이 조사되지 않아 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리하는 것이 바람직하며 라이닝 두께는 허용두께 200㎜를 만족하는 것으로 조사되었다.

다. 상태평가 결과

- 상태평가결과, 바닥판, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 내구성 확보를 위해 일부 보수가 필요한 "B"로 평가되었다.

라. 안전성 평가 결과

- 터널 수치해석 결과, 천단부 최대 변위는 -2.344㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 5.354MPa, 록볼트의 최대축력은 36.32kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

마. 결 언

- 무척산터널은 약 10년의 공용기간이 경과한 구조물로 외관조사결과, 구조적인 결함 및 손상이 없는 양호한 상태이다. NATM 구간의 균열은 지반 및 지보타입이 불리한 구간 또는 단면이 불리한 구간 등 특정 위치에 집중되지 않고, 균열 형태도 터널에서 일반적으로 조사되는 균열 형태로 조사되었으므로, 내구성 확보를 위해 균열에 대해 적절한 보수가 필요하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락 등은 손상부 콘크리트의 낙하시 통행차량에 사고를 유발할 수 있는 위험요소이므로 제거가 필요하며, 단면보수시에는 재손상이 발생되지 않도록 정밀시공이 필요하다.
- 본 터널의 상태평가 및 안전성 평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 구조물의 사용성을 확보하는데 문제가 없을 것으로 판단된다.