제 출 문

신대구부산고속도로 주식회사 귀중

귀 사와 2015년 8월 5일자로 계약을 체결한 “2015년 하반기 시설물 안전점검 용역(2구간 정밀안전진단)” 을 성실히 수행하고 고정1터널(대구, 부산)의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2015년 12월

㈜ 동 우 기 술 단

고 중 호 (인)

고정1터널(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)	21,922	안전등급	B
시설물 위치	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 (부산기점 48.750~49.890km)	시설물 규모	L=1,142m B=9.8m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

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

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

고정1터널(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) - 박락, 재료분리 - 철근노출	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	무근구간	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 들뜸, 박락, 보수부 박락, 파손	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	공동구	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 박락/파손 - 철근노출 - 공동구 덮개 파손	- 지속관찰 - 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	5.734	a	
		록볼트	3.098	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	24.3~28.3	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	24.2~27.4	
철근탐사 (㎜)	라이닝	배근간격	98~132	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	31~83	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		26.5~92.9	■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a~b”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	라이닝		0.337~0.635	■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성이 낮은 상태인 ‘b’로 평가됨.
균열 깊이	라이닝		67.1~98.6	■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨.

고정1터널(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)	21,462	안전등급	B
시설물 위치	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 (부산기점 48.750~49.890km)	시설물 규모	L=1,118m B=9.8m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

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

고정1터널(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), 망상균열 - 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, 파손	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	공동구	b	- 균열(Cw:0.2㎜이하) - 균열(Cw:0.3㎜이상) - 박락/파손 - 공동구 덮개 파손	- 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰 - 지속관찰
	배수시설	b	- 집수구 토사퇴적	- 청소
부대시설	피난연결통로	a	- 상태양호	- 지속관찰

나. 안전성평가 결과

구 분			안전율	안전성 여부 또는 평가등급	비 고
NATM 구간	지보재	숏크리트	5.734	a	
		록볼트	3.098	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	24.0~30.6	■ 설계기준강도 대비 100%이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
		초음파	24.4~28.0	
철근탐사 (㎜)	라이닝	배근간격	98~126	■ 전반적으로 철근간격 및 피복두께가 설계값과 근사함.
		피복두께	30~99	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	라이닝		26.0~90.5	■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a~b”로 평가되며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 미비한 것으로 검토됨.
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	라이닝		0.221~0.414	■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성이 낮은 상태인 ‘a~b’로 평가됨.
균열 깊이	라이닝		48.7~101.1	■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨.

고정1터널 현황표

※ 작성일 : 2015년 12월 31일

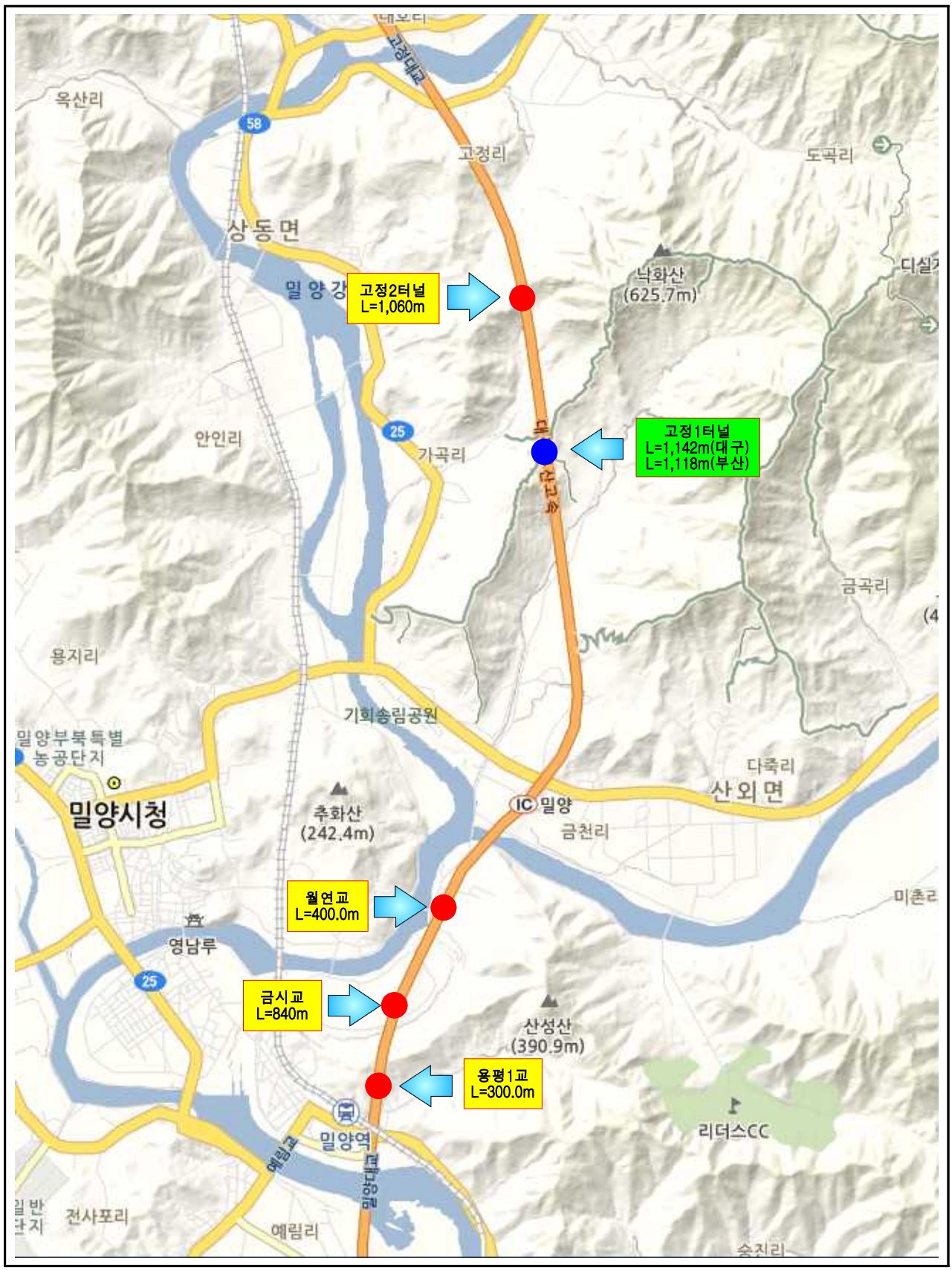
구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000210 부산방향 : TU2006-0000211	관리번호	dbw T.9
노 선 명	고속국도55호선	시 행 자	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 밀양시 상동면 가곡리 [부산기점 48.75km]	종 점	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 [부산기점 49.89km]
터널형식	NATM	관리주체	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	환기방식	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 1,142m 부산방향 : 1,118m	설 계 사	선진엔지니어링(주)
내공단면	폭 : 9.8m, 높이 : 7.6m	시 공 사	현대산업개발(주)
배수형식	THP관 ∅300, 유공관 ∅200	감 리 사	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	-2.000%	착 공	2001년 10월 17일
평균선형	직선	준 공	2006년 2월 10일
연결통로	횡갱 1개소	갱문형식	Bell Mouth
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)


옥산리
58
고정리
도곡리
상동면
밀양강
고정2터널
L=1,060m
낙화산
(625.7m)
안인리
25
가곡리
고정1터널
L=1,142m(대구)
L=1,118m(부산)
금곡리
용지리
기회송림공원
밀양부북특별
농공단지
밀양시청
추화산
(242.4m)
IC 밀양
다죽리
산외면
금천리
월연교
L=400.0m
영남루
25
금시교
L=840m
산성산
(390.9m)
용평1교
L=300.0m
밀양역
리더스CC
예림교
전사포리
예림리

시설물 위치도(2)

청도 방향
상동 방향
<고정1터널>
– NATM
– L=1.142m(대구방향)
– L=1.118m(부산방향)
유호리
매화리
내호리
고정리
도곡리
상동면
밀양강
낙화산
(625.7m)
안인리
가곡리
엄광리
금곡리
기회송림공원
양시청
추화산
(242.4m)
IC 밀양
다죽리
산외면
금천리
영남루
산성산
(390.9m)
55
58
25
1017

시설물의 전경사진(1)

시점측 입구부 전경

종점측 입구부 전경

시설물의 전경사진(2)

터널 내부 전경

피난연락갱 전경

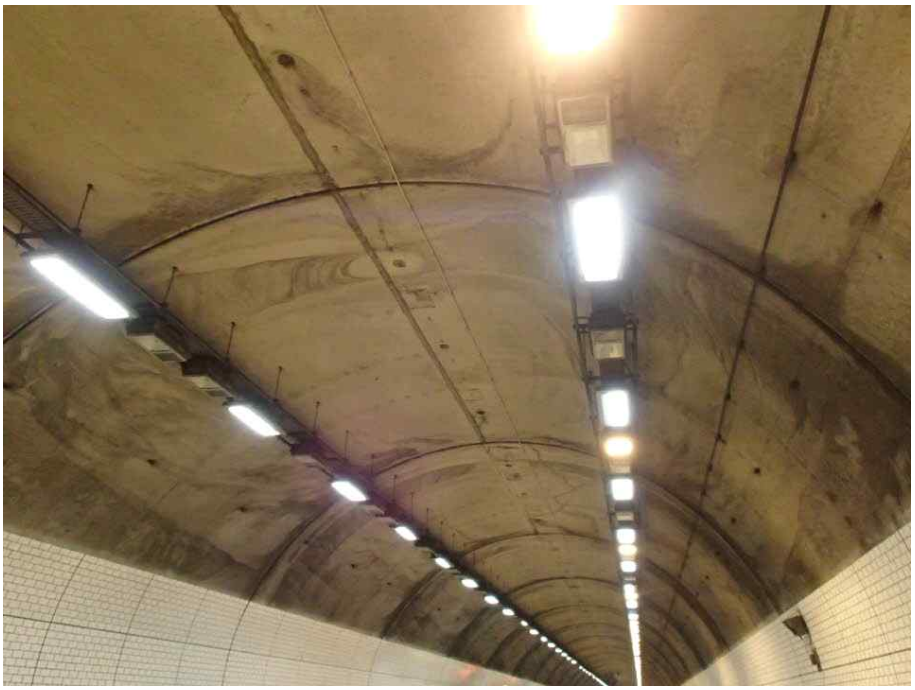
시설물의 전경사진(3)

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

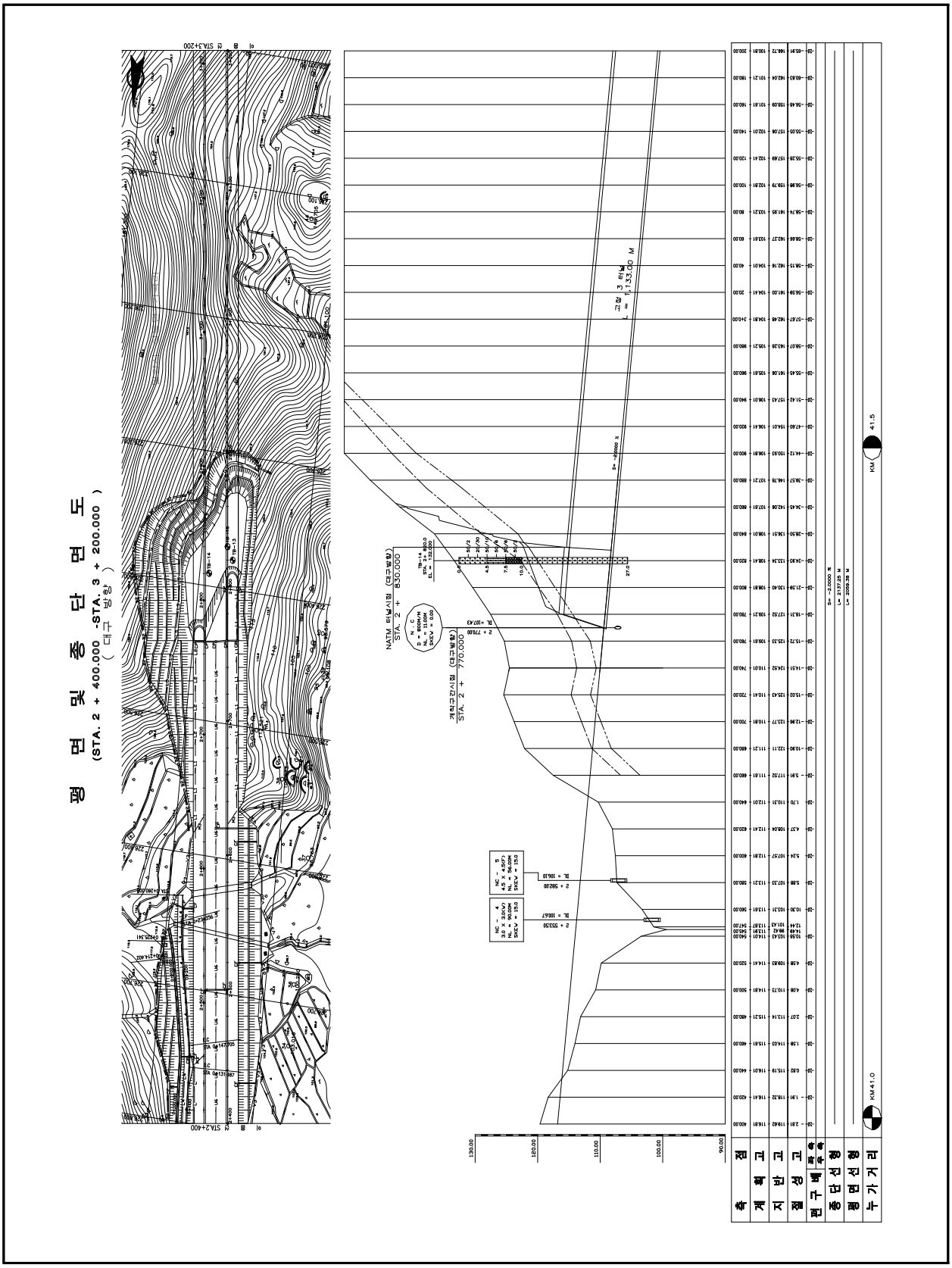
2015. 08. 11 ~ 2015. 12. 31 (착수일로부터 143일간)

1.4 시설물의 개요

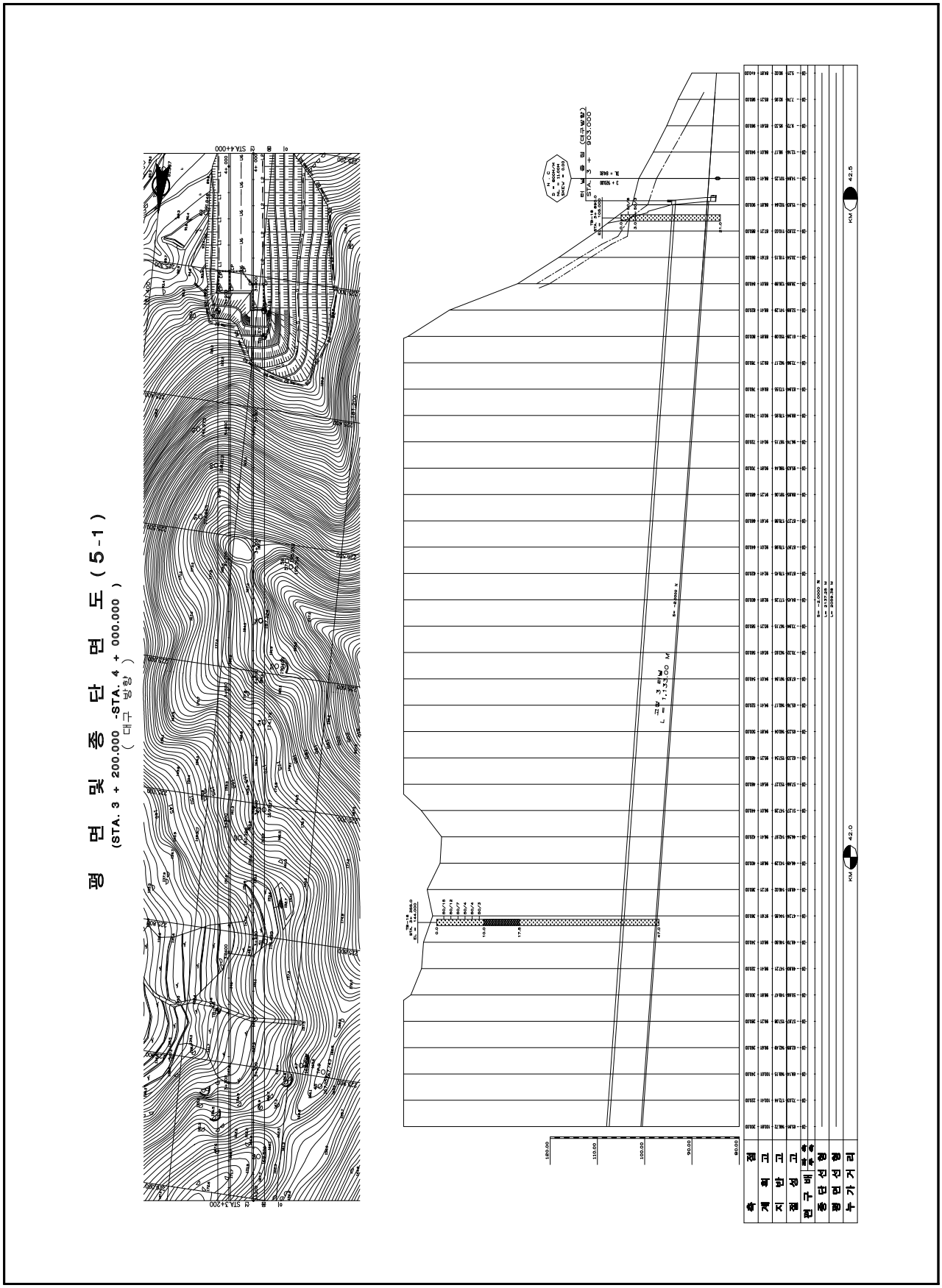
1) 시설물의 현황

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000210 부산방향 : TU2006-0000211	**관리번호**	dbw T.9
노 선 명	고속국도55호선	**시 행 자**	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 밀양시 상동면 가곡리 [부산기점 48.75km]	**종 점**	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 [부산기점 49.89km]
터널형식	NATM	**관리주체**	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	**환기방식**	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 1,142m 부산방향 : 1,118m	**설 계 사**	선진엔지니어링(주)
내공단면	폭 : 9.8m, 높이 : 7.6m	**시 공 사**	현대산업개발(주)
배수형식	THP관 ∅300, 유공관 ∅200	**감 리 사**	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	-2.000%	**착 공**	2001년 10월 17일
평균선형	직선	**준 공**	2006년 2월 10일
연결통로	횡갱 1개소	**갱문형식**	Bell Mouth
주요공법	숏크리트, 락볼트	**보조공법**	Fore poling, Pipe Roof Fre-Grouting

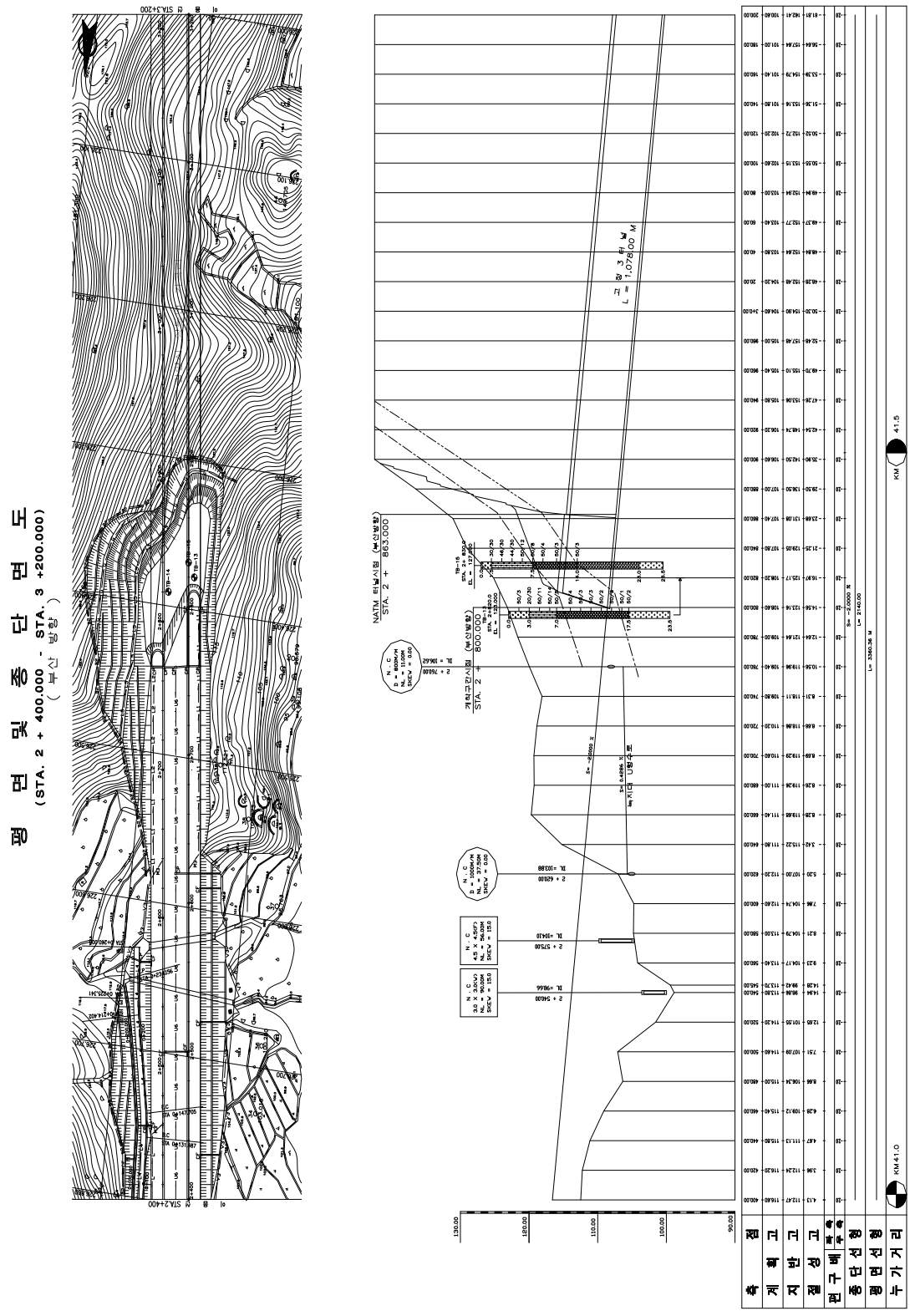
2) 시설물 주요 도면



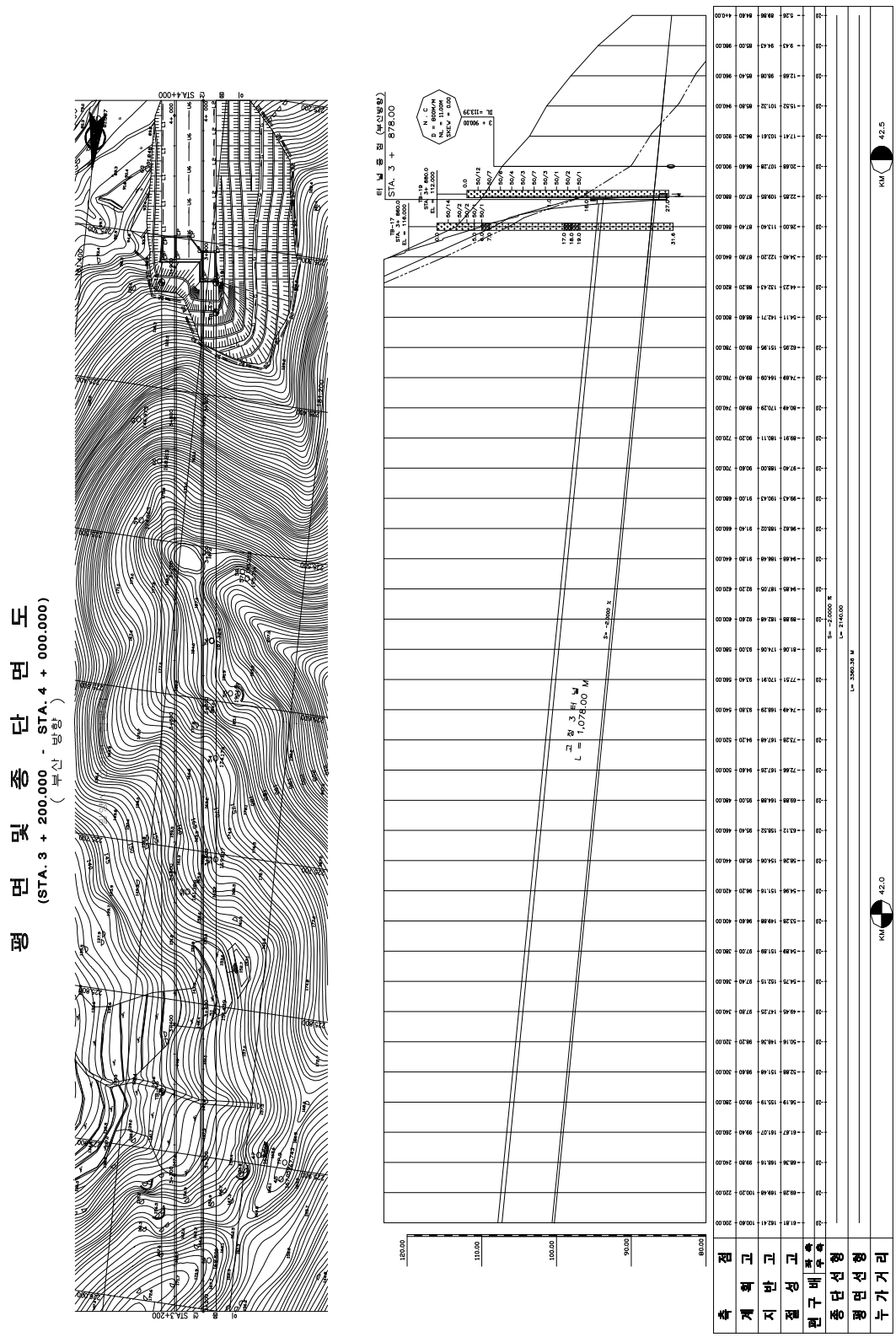
【 고정1터널(대구) 종·평면도(1) 】



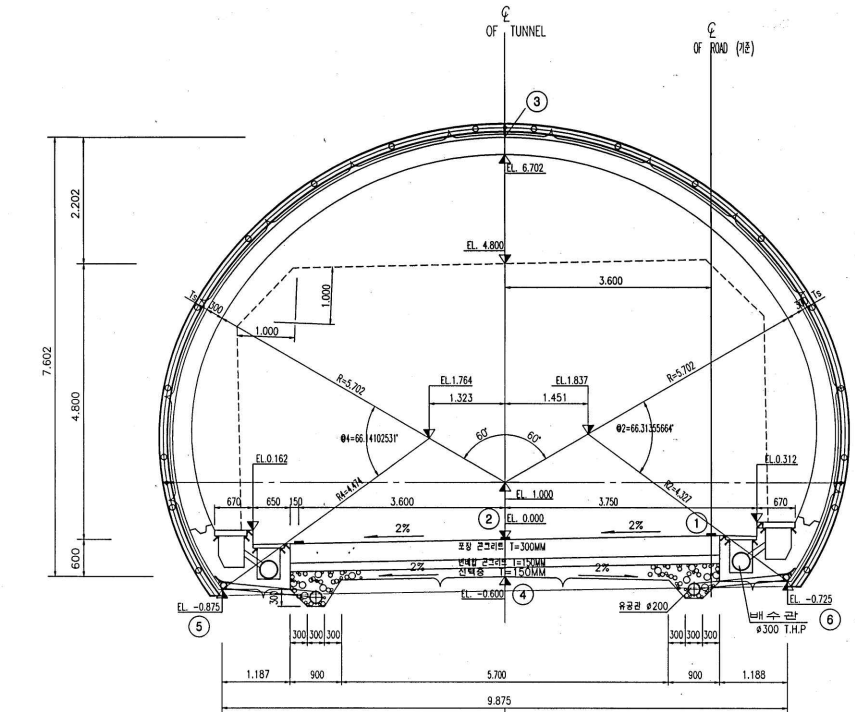
【 고정1터널(대구) 종・평면도(2) 】



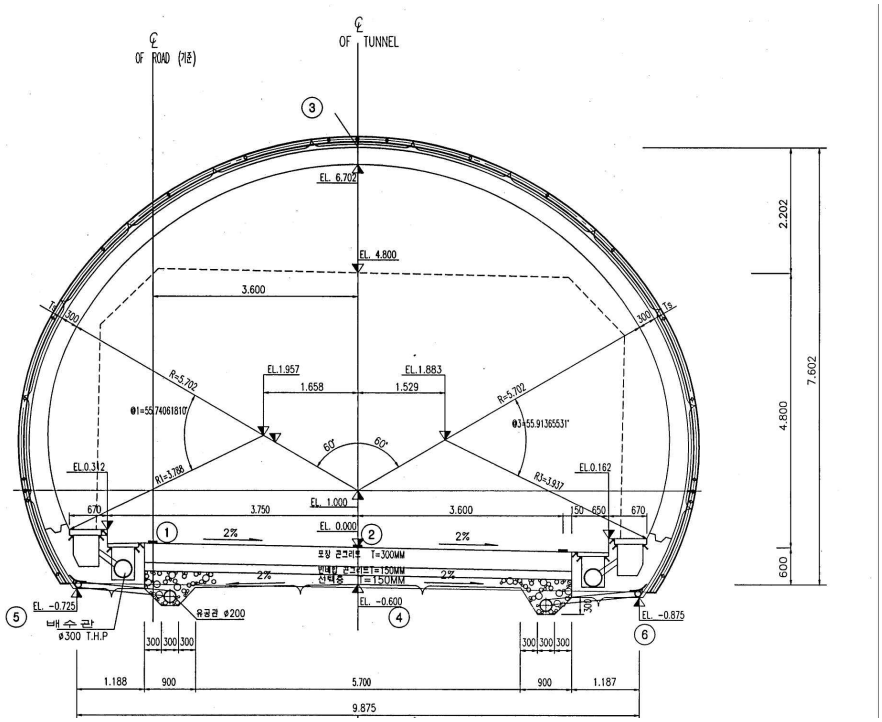
【 고정1터널(부산) 종・평면도(1) 】



【 고정1터널(부산) 종・평면도(2) 】



〈대구방향〉



〈부산방향〉

【 라이닝 표준단면도 】

2. 자료수집 및 분석

2.1 보수·보강 이력

가. 대구방향

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	비고
보수	'08.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수	-
보수	'10.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'11.03	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'12.05	-	현대산업개발(주)	옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수	-
보수	'13.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열, 들뜸보수	-
보수	'14.06	-	현대산업개발(주)	부대시설 제트팬 정비	-

나. 부산방향

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	비고
보수	'08.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수	-
보수	'10.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'11.03	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'12.05	-	현대산업개발(주)	옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수	-
보수	'13.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열, 들뜸보수	-
보수	'14.06	-	현대산업개발(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 시공시 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)	◇ 천장부 균열보수부 재균열 ◇ 라이닝 신축이음부 콘크리트 들뜸, 박락 ◇ 콘크리트 포장부 스폴링, 스켈링, 마모 ◇ 제트팬 녹발생 ◇ 시,종점측 사면 세굴 및 낙석, 갱문 배면 공동 ◇ 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	◇ 균열보수, 단면보수, 타일보수, 덮개보수 ◇ 옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치 ◇ 터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱 ◇ 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	5.0m/3개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	859.6m/225개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	3.0m/1개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	465.0m/56개소	주입보수	
		망상균열	0.2㎜이하	양생미흡, 건조수축	2,395.75㎡/116개소	표면처리	
		철근노출(피복두께 부족)		정밀시공 미흡	68.94㎡/13개소	방청+단면보수	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	2.99㎡/63개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	15.00㎡/1개소	단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	1.5m/5개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	29.5/97개소	주입보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	165개소	지속관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	6.0m/20개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	32.4m/108개소	주입보수	
		박락/파손		외부충격 등	4.16㎡/20개소	단면보수	
		철근노출		피복두께부족, 외부충격 등	2.22㎡/7개소	방청+단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	151개소	재설치	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	6.30㎡/42개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	1.22㎡/2개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	1.38㎡/4개소	주의관찰	
			파손	차량반복하중 및 충격	0.09㎡/5개소	주의관찰	
		길어깨부	균열	온도 및 건조수축	2.55m/5개소	주입보수	
			박락	차량반복하중 및 충격	0.05㎡/3개소	주의관찰	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	시공미흡	2.8m/2개소	주입보수	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	1.9m/1개소	표면처리	
		균열/백태		누수	0.7m/1개소	주입보수	
		들뜸		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.40㎡/1개소	단면보수	
		재료분리		시공시 타설불량	0.43㎡/3개소	단면보수	

2) 기 정밀점검(2013년) 결과 비교

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	23.2m/10개소	5.0m/3개소	▽	
			0.3㎜이상	73.0m/20개소	859.6m/225개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	-	3.0m/1개소	△	
			0.3㎜이상	448.0m/54개소	465.0m/56개소	△	
		망상균열	0.2㎜이하	25.0m/5개소	2,395.75㎡/116개소	△	
		철근노출(피복두께 부족)		-	68.94㎡/13개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	0.60㎡/15개소	2.99㎡/63개소	△	
			재료분리	15.00㎡/1개소	15.00㎡/1개소	-	
		표면오염		-	60.00㎡/1개소	△	
		제트팬 녹발생		9개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		-	1.5m/5개소	△	
		균열(0.3㎜이상)		6.6m/6개소	29.5/97개소	△	
		망상균열		84.70㎡/12개소	(천단부에 포함)	-	
		타일균열/파손		25개소	165개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	6.0m/20개소	△	
			0.3㎜이상	6.6m/6개소	32.4m/108개소	△	
		박락/파손		0.08㎡/5	4.16㎡/20개소	△	
		철근노출		-	2.22㎡/7개소	△	
		공동구 덮개 파손		120개소	151개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	6.30㎡	△	
	도로부 (포장면)	스캘링		0.14㎡/7개소	1.22㎡/2개소	△	
		스폴링		0.32㎡/11개소	1.38㎡/4개소	△	
		박락/파손		0.65㎡/2개소	0.14㎡/8개소	▽	보수
		균열		-	2.55m/5개소	△	
부대시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	2.8m/2개소	△	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	-	1.9m/1개소	△	
		누수		2개소	-	▽	보수
		체수		100.00㎡/1개소	-	▽	보수
		균열/백태		-	0.7m/1개소	△	
		들뜸		-	0.40㎡/1개소	△	
		재료분리		-	0.43㎡/3개소	△	

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>24.3~28.3</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>101 ~ 118</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>24.2~27.4</td><td>101 ~ 114</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>98~132</td><td>31~83</td><td>100, 125</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td>검토의견</td><td>종방향철근</td><td>135~194</td><td>52~98</td><td>145, 180</td><td>59.5</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>3.5~6.5</td><td>31~98</td><td>26.5~92.9</td><td>a~b</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a~b”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>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>0.0149~0.0281</td><td colspan="2">0.337~0.635</td><td>b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “b”로 평가됨</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균열 깊이</td><td colspan="2">부재</td><td>균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>0.3</td><td colspan="2">67.1~98.6</td><td>65~98</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단면 측량</td><td colspan="2">종단측량</td><td colspan="5">■ 종단측량 결과, 대체로 설계치와 유사하게 측정되었고 종단경사 S=2.000%인 597m~종점부 구간은 실측치가 S=2.027%로 0.027%의 오차가 발생하였으나 오차범위가 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공오차 및 측정오차 등에 의해 발생된 것으로 판단됨</td><td>중앙차선(2차로)을 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">내공변위 측량</td><td colspan="5">■ 내공변위 측량 결과, 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태임
■ 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 99.62%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 200㎜~560㎜, 어깨부 종측선에서 100㎜~550㎜, 횡측선에서 220㎜~410㎜로 나타났으며 어깨부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨 ■ 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 어깨부 종측선 S10~S12, S15, S20, S77, S82에서 나타났으며 연장율은 0.38%로 조사됨 ■ S4구간 천단부의 시점연장 30.0m부근에서 이상반사파가 탐사되었으며 외관조사에서 공동으로 확인되었다. 해당 손상은 외관조사편에서 언급하였고 외관조사망도에 수록 ■ 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.62%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 중앙천단부보다 어깨부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 일부 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>26.6～28.3</td><td>24.3～28.3</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>3.0 ～ 4.0</td><td>3.5 ～ 6.5</td><td>a～b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="3">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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	79.5m/51개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	330.8m/142개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	30.0m/5개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	903.0m/106개소	주입보수	
		망상균열	0.2㎜이하	양생미흡, 건조수축	165.29㎡/19개소	표면처리	
		철근노출		정밀시공 미흡	0.01㎡/1개소	방청+단면보수	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	3.66㎡/80개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	25.00㎡/1개소	단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
		실런트 탈락		시공미흡	0.4m/2개소	실런트 마감	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	4.7m/16개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	33.0/110개소	주입보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	200개소	지속관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	5.5m/19개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	18.0m/60개소	주입보수	
		박락/파손		외부충격 등	9.66㎡/25개소	단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	158개소	재설치	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	4.80㎡/18개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	균열	차량반복하중 및 충격	103.8m/13개소	주입보수	
			망상균열	건조수축	48.00㎡/3개소	주의관찰	
			스캘링 (표면박리 포함)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	65.46㎡/9개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	8.34㎡/55개소	주의관찰	
		길어깨부	균열	온도 및 건조수축	2.40m/4개소	주입보수	
			박락	차량반복하중 및 충격	0.05㎡/3개소	주의관찰	
부대 시설	피난연결통로	상태양호		-	-	-	

2) 기 정밀점검(2013년) 결과와의 비교

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	2.0m/2	79.5m/51개소	△	
			0.3㎜이상	41.5m/15	330.8m/142개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	25.0m/5	30.0m/5개소	-	
			0.3㎜이상	916.0m/105	903.0m/106개소	-	
		망상균열	0.2㎜이하	-	165.29㎡/19개소	△	
		철근노출		-	0.01㎡/1개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	0.6㎡/19	3.66㎡/80개소	△	
			재료분리	-	25.00㎡/1개소	△	
		표면오염		25.0/1	60.00㎡/1개소	△	
		실런트 탈락			0.4m/2개소	△	
		제트팬 녹발생		10개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		-	4.7m/16개소	△	
		균열(0.3㎜이상)		-	33.0/110개소	△	
		타일균열/파손		36개소	200개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	5.5m/19개소	△	
			0.3㎜이상	-	18.0m/60개소	△	
		박락/파손		2.53㎡/8	9.66㎡/25개소	△	
		공동구 덮개 파손		120개소	158개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	4.80㎡/18개소	△	
	도로부 (포장면)	균열		-	106.2m/17개소	△	
		망상균열		-	48.00㎡/3개소	△	
		스캘링 (표면박리 포함)		47.15㎡/7	65.51㎡/12개소	△	
		스폴링		2.91㎡/24	8.34㎡/55개소	△	
부대시설	피난연결통로	-		-	-	-	

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>24.0～30.6</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>100 ～ 128</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>24.4～28.0</td><td>102 ～ 117</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>98～126</td><td>30～99</td><td>100, 125</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>122～215</td><td>50～97</td><td>145, 180</td><td>59.5</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>4.0～7.2</td><td>30～97</td><td>26～90.5</td><td>a～b</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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>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>0.0098～0.0183</td><td colspan="2">0.221～0.414</td><td>a～b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 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>균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>0.3</td><td colspan="2">48.7～101.1</td><td>30～97</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 것으로 측정되었으며, 내구성확보 차원의 보수가 필요한 것으로 판단됨</td></tr>
<tr><td rowspan="2">단면 측량</td><td colspan="2">종단측량</td><td colspan="5">■ 종단측량 결과, 대체로 설계치와 유사하게 측정되었고 종단경사 S=2.000%인 589m～종점부 구간은 실측치가 S=2.020%로 0.020%의 오차가 발생하였으나 오차범위가 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공오차 및 측정오차 등에 의해 발생된 것으로 판단됨</td><td>중앙차선(2차로)을 기준</td></tr>
<tr><td colspan="2">내공변위 측량</td><td colspan="5">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	■ 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 라이닝 두께 부족구간을 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께는 전구간 허용기준을 만족하는 상태로 조사되었다. ■ 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 230㎜~790㎜, 어깨부 종측선에서 220㎜~670㎜, 횡측선에서 200㎜~470㎜로 나타났다. ■ 이상반사파 탐사결과 S105구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~50㎜ 두께, 0.6m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.03%로 조사되었다. ■ 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 전반적으로 라이닝 배면의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 이상반사파 탐지구간이 발생한 것으로 나타나 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.	

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>25.0～26.5</td><td>24.0～30.6</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>4.0 ～ 5.0</td><td>4.0 ～ 7.2</td><td>a～b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="3">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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>

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	5.04	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.04	0.60	0.08	0.28	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.62	0.177
무근 콘크리트	6.33	0.00	0.02	0.00	0.44	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	8.28	0.244

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
고정1터널 (대구)	NATM	철근	214.0	0.187	B	0177	0.033
		무근	928.0	0.813	B	0.244	0.098
합계			1,142.0	1.000	-	0.421	0.231

결함지수	0.231
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)		
고정1터널 (대구)	NATM	B	0.231	1.00	0.231

결함지수	0.231
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.231}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.231$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.231) < 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 0.150 ⇨ 0.231으로 증가한 것으로 분석되었다.

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	b	0.170	b	0.177	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.090	b	0.244	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		B	0.150	B	0.231	

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	4.96	0.00	0.04	0.00	0.25	0.00	0.04	0.04	0.04	0.21	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.07	0.164
무근 콘크리트	6.95	0.00	0.01	0.00	0.51	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	8.97	0.264

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
고정1터널 (부산)	NATM	철근콘크리트	229.0	0.205	B	0.164	0.034
		무근콘크리트	889.0	0.795	C	0.264	0.210
합계			1,118.0	1.000	-	0.428	0.244

결함지수	0.244
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)		
고정1터널 (부산)	NATM	B	0.244	1.00	0.244

결함지수	0.244
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.244}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.244$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.244) < 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 0.200 ⇨ 0.244으로 증가한 것으로 분석되었다.

구 분		'13년 정밀점검		금회('15년) 진단		결함지수 변화요인
		등급	결함지수	등급	결함지수	
라이닝	철근콘크리트	b	0.220	b	0.164	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.070	c	0.264	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		B	0.200	B	0.244	

5. 안전성평가

5.1 시점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.961	-1.952	-1.975
최대 수평변위(㎜)	0.132	-0.130	-0.177
숏크리트 압축응력(MPa)	1.155<8.400 ∴O.K	1.294<8.400 ∴O.K	1.465<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	0.469	1.414	1.704

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

5.2 종점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-0.750	-0.689	-0.646
최대 수평변위(㎜)	0.052	0.254	0.492
숏크리트 압축응력(MPa)	0.917<8.400 ∴O.K	1.179<8.400 ∴O.K	1.390<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	28.530<88.70 ∴O.K	22.104<88.70 ∴O.K	28.627<88.70 ∴O.K

- 터널 수치해석 결과, 변위가 미소하고 지보재(숏크리트, Rock Bolt)의 응력은 모두 허용 응력 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	고정1터널 (대구)	B (0.231)	A (3.098)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정
		고정1터널 (부산)	B (0.244)	A (3.098)	B	

6.2 안전등급 지정

구분	안전등급	안전등급의 의미
고정1터널 (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	5	1.25	㎡	49	61	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	859.6	859.60	m	130	111,748	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	3	0.75	㎡	49	36	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	465	465.00	m	130	60,450	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	2395.75	2395.75	㎡	49	117,391	-	표면처리
	철근노출	지속관찰	68.94	103.41	㎡	232	23,991	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸/파손	지속관찰	2.99	4.49	㎡	215	964	-	제거/단면보수
	재료분리	지속관찰	15	22.50	㎡	215	4,837	-	단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	1.5	0.38	㎡	49	18	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	29.5	29.50	m	130	3,835	-	주입보수
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	6	1.50	㎡	49	73	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	32.4	32.40	m	130	4,212	-	주입보수
	박락/파손	지속관찰	4.16	6.24	㎡	215	1,341	-	단면보수
	철근노출	지속관찰	2.22	3.33	㎡	232	772	-	단면보수(방청)
	공동구 덮개 파손	지속관찰	151	151.00	개소	100	15,100	-	공동구덮개 재설치
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	6.3	9.45	㎡	80	756	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	2.55	2.55	m	130	331	3	-
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	2.8	2.80	m	130	364	-	-
옥외 공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	1.9	0.48	㎡	49	23	-	표면처리
	균열/백태	지속관찰	0.7	0.70	m	130	91	-	주입보수
	들뜸	지속관찰	0.4	0.60	㎡	215	129	-	단면보수
	재료분리	지속관찰	0.43	0.65	㎡	215	138	-	단면보수
순공사비 합계(천원)							351,071		
제경비(순공사비×50%)							175,536		
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위						-		
	2순위						-		
	3순위						1,631		
	지속관찰						524,976		
유지보수 개략공사비 총계							526,607		

※ 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	79.5	19.88	㎡	49	973	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	330.8	330.80	m	130	43,004	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	30	7.50	㎡	49	367	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	903	903.00	m	130	117,390	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	165.29	165.29	㎡	49	8,099	-	표면처리
	철근노출	지속관찰	0.01	0.02	㎡	232	3	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸/파손	지속관찰	3.66	5.49	㎡	215	1,180	-	제거/단면보수
	재료분리	지속관찰	25	37.50	㎡	215	8,062	-	단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
	실런트 탈락	실런트 마감	0.4	0.40	m	20	8	3	-
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	4.7	1.18	㎡	49	57	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	33	33.00	m	130	4,290	-	주입보수
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	5.5	1.38	㎡	49	67	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	18	18.00	m	130	2,340	-	주입보수
	박락/파손	지속관찰	9.66	14.49	㎡	215	3,115	-	단면보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	158	158.00	개소	100	15,800	-	공동구덮개 재설치
배수시설	집수구 토사 퇴적	정비	4.8	7.20	㎡	80	576	3	-
도로부	포장부 균열	주입보수	103.8	103.80	m	130	13,494	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	2.4	2.40	m	130	312	3	-
순공사비 합계(천원)									223,547
제경비(순공사비×50%)									111,774
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위							-
		2순위							-
		3순위							21,585
		지속관찰							313,736
유지보수 개략공사비 총계									335,321

※ 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	 신축이음부 들뜸(S29, 어깨부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부	 단면손상(S14, 철근노출)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스폴링(S108)

8. 종합결론

고정1터널은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리～산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 대구방향 및 부산방향의 연장은 각각 1,142m, 1118m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000% 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 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면은 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로 및 사면소단 측구에 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-2 구간이 단위 m당 균열연장 1.3m로 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 종점부 개착터널 구간은 타이홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 종방향 균열이 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 판단된다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 균열 발생 위치 및 형태를 고려할 때, 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- 철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간 중 철근이 배근된 피난연락갱(S64, S66), Jet Fan(S30, S62, S94), T-6의 개착터널 인접구간(S4, S5)에서 발생되었으며, 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리 등의 단면 손상이 조사되었고, 들뜸부 콘크리트 낙하시 하부 통행차량에 사고발생 가능성이 높아 들뜸부 제거 및 단면보수가 필요하다. 단, 단면보수부의 재손상 발생시 통행차량의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 정밀 시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 철근노출, 박락, 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.
- 철근노출, 박락, 파손 손상은 외부충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트 품질 불량부위에 발생된 손상으로, 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로, 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 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 조사되었므로, 원활한 배수 처리를 위해 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

6) 도로부(포장면)

- 고정1터널(대구방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 박락, 파손, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링, 박락, 파손 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 균열은 길어깨부에 발생된 손상으로 온도 및 건조수축에 의해 발생된 균열로 터널내 오염물질에 의해 손상확대 가능성이 있어 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 고정1터널(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, 온도 및 건조수축에 의한 균열, 균열/백태, 들뜸, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하다.
- 균열/백태 손상은 공동구에서 터널부로 연결된 설비시설 통로를 통해 터널내의 우수가 유입되어 발생된 손상으로 균열부 주입보수 및 표면처리가 바람직하며, 들뜸 및 재료분리 손상은 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

나. 부산방향

1) 터널 시점부 주변 조사 결과

- 터널 시점부 사면은 표층유실, 세굴, 식생불량이 조사되었으나, 국부적 경미한 손상으로 주의관찰이 필요하고, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면은 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로에 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-3 구간이 단위 m당 균열연장 1.4m로 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.
- 개착터널 구간의 종방향 균열은 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며 일부 균열은 타이홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 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 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.

- 철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간은 전반적으로 양호하나 개착터널 일부 구간(S124)에 손상 발생이 조사되어 내구성 확보를 위해 단면 보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료 분리 등의 단면 손상이 조사되었고, 신축이음 들뜸부 콘크리트는 낙하시, 하부 통행차량에 사고발생 가능성이 높아 들뜸부 제거 및 단면보수가 필요하다. 단, 단면보수부의 재손상 발생시 통행차량의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 정밀 시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌・우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 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.
- 박락, 파손 손상은 외부 충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트 품질 불량 부위에 발생된 손상으로, 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 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)

- 고정1터널(부산방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 표면박리, 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링, 파손 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.

- 균열은 길어깨부에 발생된 손상으로 온도 및 건조수축에 의해 발생된 균열로 터널내 오염물질에 의해 손상확대 가능성이 있어 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.
- 표면박리, 망상균열은 표면부 손상으로 손상정도가 경미하여 손상확대 여부에 대한 주의관찰 및 주기적 점검이 바람직하다.

7) 부대시설

- 고정1터널(부산방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다.

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” 로 평가되나, 일부 개소는 피복두께가 다소 부족하여 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있는 “b” 로 평가되었으므로 주의관찰이 필요하다.
- 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.

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 -1.975㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 1.465MPa, 록볼트의 최대축력은 28.627kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

마. 결 언

- 고정1터널은 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 점검이력 ····· Ⅰ-42

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

2.4 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-54

2.5 내진설계 여부 ····· Ⅰ-55
2.6 자료분석 결과요약 ····· Ⅰ-55

제 3장 현장조사 및 시험 개요 ····· Ⅰ-55
3.1 현장조사 개요 ····· Ⅰ-57
3.1.1 현장조사 수행 현황 ····· Ⅰ-57
3.2 내구성 시험 및 측정 개요 ····· Ⅰ-59
3.2.1 콘크리트 내구성 조사 ····· Ⅰ-59
3.2.2 시험내용 및 평가기준 ····· Ⅰ-59
3.3 G.P.R 탐사 개요 ····· Ⅰ-72
3.3.1 개요 ····· Ⅰ-72
3.3.4 자료분석 ····· Ⅰ-76

제 4장 상태평가 개요 ····· Ⅰ-79
4.1 개요 ····· Ⅰ-81
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· Ⅰ-81
4.2.1 상태평가 기준 ····· Ⅰ-81
4.2.2 상태평가 항목 및 기준 ····· Ⅰ-87
4.2.3 상태평가 등급 산정방법 ····· Ⅰ-93

제 5장 종합평가 및 안전등급 지정 개요 ····· Ⅰ-97
5.1 종합평가 기준 ····· Ⅰ-99
5.2 안전등급 기준 ····· Ⅰ-100

- 제 Ⅱ 편 고정1터널(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-7
1.1.4 기 점검결과와 비교 ····· Ⅱ-31

1.2 내구성 조사 결과 ····· Ⅱ-32
1.2.1 콘크리트 강도시험 ····· Ⅱ-34
1.2.2 철근탐사시험 ····· Ⅱ-36
1.2.3 탄산화 깊이 측정 ····· Ⅱ-37
1.2.4 염화물함유량 시험 ····· Ⅱ-38
1.2.5 균열깊이 측정결과 ····· Ⅱ-39
1.2.6 단면측량 결과 ····· Ⅱ-40
1.2.7 현장시험 결과 요약 ····· Ⅱ-43
1.3 G.P.R 탐사 결과 ····· Ⅱ-45
1.3.1 조사구간 선정 ····· Ⅱ-45
1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석 ····· Ⅱ-46
1.3.3 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅱ-51
1.3.4 강지보공 ····· Ⅱ-52
1.3.5 G.P.R 탐사결과 ····· Ⅱ-53

제 2장 시설물의 상태평가 ····· Ⅱ-55
2.1 구간분할 ····· Ⅱ-57
2.2 상태평가 결과 ····· Ⅱ-58
2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과 ····· Ⅱ-58
2.2.2 터널주변 상태평가 결과 ····· Ⅱ-66
2.2.3 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-67
2.2.4 상태평가 결과 ····· Ⅱ-67
2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교 ····· Ⅱ-69

제 3장 시설물의 안전성 평가 ····· Ⅱ-71
3.1 개요 ····· Ⅱ-73
3.1.1 검토 개요 ····· Ⅱ-73
3.1.2 검토위치 선정 ····· Ⅱ-74
3.2 해석조건 및 방법 ····· Ⅱ-74
3.2.1 일반사항 ····· Ⅱ-74
3.2.2 적용된 수치해석 프로그램 ····· Ⅱ-75

3.2.3 해석조건 ····· Ⅱ-78
3.2.4 지반정수 결정 ····· Ⅱ-78
3.2.5 지보재 재료특성 ····· Ⅱ-83
3.2.6 검토하중 ····· Ⅱ-83
3.3 해석결과 및 분석 ····· Ⅱ-84
3.3.1 고정1터널 NATM 시점부(STA.48k+788) ····· Ⅱ-84
3.3.2 고정1터널 NATM 종점부(STA.49k+801) ····· Ⅱ-95
3.4 결론 ····· Ⅱ-106
3.4.1 고정1터널 시점부 ····· Ⅱ-106
3.4.2 고정1터널 종점부 ····· Ⅱ-106

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· Ⅱ-105
4.1 종합평가 결과 ····· Ⅱ-109
4.1.1 검토 개요 ····· Ⅱ-109
4.1.2 기 점검과의 비교 ····· Ⅱ-109
4.2 시설물의 안전등급 ····· Ⅱ-110

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· Ⅱ-111
5.1 개 요 ····· Ⅱ-113
5.2 보수·보강 방안 ····· Ⅱ-115
5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정 ····· Ⅱ-115
5.2.2 결함내용별 보수·보강방안 ····· Ⅱ-117
5.2.3 보수·보강 방안 ····· Ⅱ-118
5.2.4 보수 후 성능평가 방법 ····· Ⅱ-128
5.3 보수·보강 개략공사비 ····· Ⅱ-131
5.4 유지관리 방안 ····· Ⅱ-133
5.4.1 유지관리 일반 ····· Ⅱ-133
5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅱ-136
5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항 ····· Ⅱ-137
5.4.4 부위별 점검요령 ····· Ⅱ-138

제 6장 종합결론 ····· Ⅱ-141

- 제 Ⅲ 편 고정1터널(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-7
1.1.4 기 점검결과와 비교 ····· Ⅲ-29
1.2 내구성 조사 결과 ····· Ⅲ-30
1.2.1 콘크리트 강도시험 ····· Ⅲ-32
1.2.2 철근탐사시험 ····· Ⅲ-34
1.2.3 탄산화 깊이 측정 ····· Ⅲ-35
1.2.4 염화물함유량 시험 ····· Ⅲ-36
1.2.5 균열깊이 측정결과 ····· Ⅲ-37
1.2.6 단면측량 결과 ····· Ⅲ-38
1.2.7 현장시험 결과 요약 ····· Ⅲ-41
1.2.8 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅲ-42
1.3 G.P.R 탐사 결과 ····· Ⅲ-43
1.3.1 조사구간 선정 ····· Ⅲ-43
1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석 ····· Ⅲ-44
1.3.3 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅲ-49
1.3.4 강지보공 ····· Ⅲ-50

제 2장 시설물의 상태평가 ····· Ⅲ-51
2.1 구간분할 ····· Ⅲ-53
2.2 상태평가 결과 ····· Ⅲ-54
2.2.1 기본시설의 Span단위 상태평가 결과 ····· Ⅲ-54
2.2.2 터널주변 상태 ····· Ⅲ-62
2.2.3 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅲ-63
2.2.4 상태평가 결과 ····· Ⅲ-63

2.2.5 기 점검('13년) 결과와의 비교 ····· Ⅲ-65

제 3장 시설물의 안전성 평가 ····· Ⅲ-67

3.1 개요 ····· Ⅲ-69

3.1.1 검토 개요 ····· Ⅲ-69

3.1.2 검토위치 선정 ····· Ⅲ-70

3.2 해석조건 및 방법 ····· Ⅲ-70

3.2.1 일반사항 ····· Ⅲ-70

3.2.2 적용된 수치해석 프로그램 ····· Ⅲ-71

3.2.3 해석조건 ····· Ⅲ-74

3.2.4 지반정수 결정 ····· Ⅲ-74

3.2.5 지보재 재료특성 ····· Ⅲ-78

3.2.6 검토하중 ····· Ⅲ-78

3.3 해석결과 및 분석 ····· Ⅲ-79

3.3.1 고정1터널 NATM 시점부(STA.48k+788) ····· Ⅲ-79

3.3.2 고정1터널 NATM 종점부(STA.49k+801) ····· Ⅲ-90

3.4 결론 ····· Ⅲ-101

3.4.1 고정1터널 시점부 ····· Ⅲ-101

3.4.2 고정1터널 종점부 ····· Ⅲ-101

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····· Ⅲ-103

4.1 종합평가 결과 ····· Ⅲ-105

4.1.1 검토 개요 ····· Ⅲ-105

4.1.2 기 점검과의 비교 ····· Ⅲ-105

4.2 시설물의 안전등급 ····· Ⅲ-106

제 5장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· Ⅲ-107

5.1 개 요 ····· Ⅲ-109

5.2 보수·보강 방안 ····· Ⅲ-111

5.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 선정 ····· Ⅲ-111

5.2.2 결함내용별 보수·보강방안 ····· Ⅲ-113

5.2.3 보수·보강 방안 ····· Ⅲ-114
5.2.4 보수 후 성능평가 방법 ····· Ⅲ-124
5.3 보수·보강 개략공사비 ····· Ⅲ-127
5.4 유지관리 방안 ····· Ⅲ-129
5.4.1 유지관리 일반 ····· Ⅲ-129
5.4.2 점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅲ-132
5.4.3 진단결과에 따른 중점유지관리 사항 ····· Ⅲ-133
5.4.4 부위별 점검요령 ····· Ⅲ-134

제 6장 종합결론 ····· Ⅲ-137

◉ 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】 고정1터널 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-고정1터널 ····· 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】 고정1터널 시추공별 지층분포 ····· Ⅰ-35
【표 2.2.5】 단면해석에 활용된 지반 물성치 ····· Ⅰ-36
【표 2.2.6】 단면해석에 활용된 지보재 물성치 ····· Ⅰ-36
【표 2.2.7】 지보패턴 ····· Ⅰ-36
【표 2.2.8】 해석단면 위치 ····· Ⅰ-37
【표 2.3.1】 고정1터널(대구) 기 점검이력 ····· Ⅰ-42
【표 2.3.2】 고정1터널(부산) 기 점검이력 ····· Ⅰ-45
【표 2.4.1】 고정1터널(대구) 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-53
【표 2.4.2】 고정1터널(부산) 보수·보강 이력 ····· Ⅰ-53
【표 2.6.1】 자료분석 결과요약 ····· Ⅰ-54
【표 3.1.1】 부재별 주요조사 항목 ····· Ⅰ-58
【표 3.2.1】 보정반발경도(Ro) ····· Ⅰ-60
【표 3.2.2】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험) ····· Ⅰ-61
【표 3.2.3】 재령계수 α 값 ····· Ⅰ-61
【표 3.2.4】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험) ····· Ⅰ-64
【표 3.2.5】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인 ····· Ⅰ-68
【표 3.2.6】 탄산화 상태평가 기준 ····· Ⅰ-69
【표 3.2.7】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007)) ····· Ⅰ-70
【표 3.2.8】 염화물 상태평가 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12)) ····· Ⅰ-71
【표 3.3.1】 G.P.R 장비 제원 ····· Ⅰ-72
【표 3.3.2】 일반적 물질의 전자기적 성질 ····· Ⅰ-75
【표 4.2.1】 터널의 기본시설물과 부대시설물의 종류 ····· Ⅰ-81

【표 4.2.2】 터널 상태평가 항목 ····· Ⅰ-82
【표 4.2.3】 NATM터널(무근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-82
【표 4.2.4】 NATM터널(철근콘크리트 라이닝) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-83
【표 4.2.5】 개착식터널 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-83
【표 4.2.6】 부대시설 상태평가 항목 ····· Ⅰ-84
【표 4.2.7】 부대시설의 가중치 ····· Ⅰ-85
【표 4.2.8】 부대시설(무근콘크리트) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-86
【표 4.2.9】 부대시설(철근콘크리트) 결함지수 산정기준 ····· Ⅰ-86
【표 4.2.10】 균열 상태평가 기준 ····· Ⅰ-87
【표 4.2.11】 누수 상태평가 기준 ····· Ⅰ-88
【표 4.2.12】 파손 및 손상 상태평가 기준 ····· Ⅰ-88
【표 4.2.13】 재질열화 상태평가 기준 ····· Ⅰ-89
【표 4.2.14】 배수상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-90
【표 4.2.15】 지반상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-90
【표 4.2.16】 갱문(접속부)상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-91
【표 4.2.17】 공동구상태 상태평가 기준 ····· Ⅰ-91
【표 4.2.18】 특수조건(추가점수) 상태평가 기준 ····· Ⅰ-91
【표 4.2.19】 균열 상태평가 기준 ····· Ⅰ-92
【표 4.2.20】 파손 및 손상 상태평가 기준 ····· Ⅰ-92
【표 4.2.21】 터널 상태평가 결과 산정 ····· Ⅰ-93
【표 4.2.22】 부대시설의 가중치 ····· Ⅰ-95
【표 5.2.1】 안전등급 기준 ····· Ⅰ-100

- 제 Ⅱ 편 고정1터널(대구) -

【표 1.1.1】 고정1터널(대구방향) 시공현황 ····· Ⅱ-3
【표 1.1.2】 고정1터널 시추공별 지층분포 ····· Ⅱ-6
【표 1.1.3】 Span별 시공현황 ····· Ⅱ-8
【표 1.1.4】 터널 시점부 손상현황 ····· Ⅱ-11
【표 1.1.5】 터널 종점부 손상현황 ····· Ⅱ-12
【표 1.1.6】 지보패턴별 균열발생 빈도 ····· Ⅱ-15
【표 1.1.7】 전체 균열발생 현황 ····· Ⅱ-16
【표 1.1.8】 횡방향 균열발생 현황 ····· Ⅱ-18
【표 1.1.9】 측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황 ····· Ⅱ-19
【표 1.1.10】 철근노출 손상발생 현황 ····· Ⅱ-19
【표 1.1.11】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-20
【표 1.1.12】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-21
【표 1.1.13】 기타 손상 발생 현황 ····· Ⅱ-22

【표 1.1.14】 공동구 손상발생 현황 ····· Ⅱ-23
【표 1.1.15】 배수시설 손상발생 현황 ····· Ⅱ-24
【표 1.1.16】 도로부(포장면) 손상발생 현황 ····· Ⅱ-25
【표 1.1.17】 부대시설 손상발생 현황 ····· Ⅱ-28
【표 1.1.18】 옥외공동구 손상발생 현황 ····· Ⅱ-29
【표 1.1.19】 외관조사 결과 ····· Ⅱ-30
【표 1.1.20】 기 점검결과와 손상물량 비교표 ····· Ⅱ-31
【표 1.2.1】 고정1터널(대구) 콘크리트 비파괴시험 현황 ····· Ⅱ-32
【표 1.2.2】 비파괴강도 시험결과 ····· Ⅱ-34
【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석 ····· Ⅱ-35
【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅱ-35
【표 1.2.5】 철근탐사 시험결과 ····· Ⅱ-36
【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석 ····· Ⅱ-36
【표 1.2.7】 탄산화깊이 측정결과 및 평가 ····· Ⅱ-37
【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅱ-38
【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가 ····· Ⅱ-38
【표 1.2.10】 균열깊이 측정결과 ····· Ⅱ-39
【표 1.2.11】 고정1터널(대구) 종단측량 결과 ····· Ⅱ-40
【표 1.2.12】 고정1터널(대구) 내공변위 측량 결과 ····· Ⅱ-41
【표 1.2.13】 현장시험 결과 요약 ····· Ⅱ-43
【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅱ-44
【표 1.3.1】 탐사구간 및 연장 ····· Ⅱ-45
【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅱ-46
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅱ-46
【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께부족 구간 ····· Ⅱ-47
【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부) ····· Ⅱ-48
【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부) ····· Ⅱ-50
【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선) ····· Ⅱ-51
【표 1.3.8】 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅱ-52
【표 1.3.9】 강지보공 탐사구간 ····· Ⅱ-52
【표 2.2.1】 콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-58
【표 2.2.2】 콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-62
【표 2.2.3】 터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-66
【표 2.2.4】 터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-66
【표 2.2.5】 터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-66
【표 2.2.6】 터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅱ-66
【표 2.2.7】 피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ···· Ⅱ-67
【표 2.2.8】 피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-67

【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과 ····· Ⅱ-67
【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-68
【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅱ-68
【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과 ····· Ⅱ-68
【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교 ····· Ⅱ-69
【표 3.1.1】 안전성 평가항목 ····· Ⅱ-73
【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수 ····· Ⅱ-79
【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비 ····· Ⅱ-79
【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계 ····· Ⅱ-79
【표 3.2.4】 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수 ····· Ⅱ-80
【표 3.2.5】 N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계 ····· Ⅱ-81
【표 3.2.6】 N치를 이용한 내부마찰각(ϕ)의 추정식 ····· Ⅱ-81
【표 3.2.7】 고정1터널 설계 적용 지반정수 ····· Ⅱ-81
【표 3.2.8】 지보재 재료특성 ····· Ⅱ-83
【표 3.2.9】 하중분배율 ····· Ⅱ-83
【표 4.1.1】 종합평가 결과 변화 비교 ····· Ⅱ-109
【표 4.2.1】 시설물의 안전등급 ····· Ⅱ-110
【표 5.1.1】시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 ····· Ⅱ-114
【표 5.2.1】보수・보강 우선순위 결정 기준 ····· Ⅱ-115
【표 5.2.2】보수・보강 일람표 ····· Ⅱ-117
【표 5.2.3】표면보수 재료목록 ····· Ⅱ-118
【표 5.2.4】KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지) ····· Ⅱ-120
【표 5.2.5】저압・저속식 주입방법 ····· Ⅱ-121
【표 5.2.6】균열폭에 알맞은 수지의 점성도 ····· Ⅱ-121
【표 5.2.7】일반적인 주입파이프의 간격 ····· Ⅱ-121
【표 5.2.8】균열주입공법 비교 ····· Ⅱ-122
【표 5.2.9】콘크리트 단면보수 공법 비교 ····· Ⅱ-125
【표 5.3.1】보수・보강 개략공사비 ····· Ⅱ-131
【표 5.4.1】점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅱ-136
【표 5.4.2】등급별 실시주기 ····· Ⅱ-136
【표 5.4.3】부재별 유지관리 중점사항 ····· Ⅱ-137

- 제 Ⅲ 편 고정1터널(부산) -

【표 1.1.1】 고정1터널(부산방향) 시공현황 ····· Ⅲ-3
【표 1.1.2】 고정1터널 시추공별 지층분포 ····· Ⅲ-6
【표 1.1.3】 Span별 시공현황 ····· Ⅲ-8
【표 1.1.4】 터널 시점부 손상현황 ····· Ⅲ-11

【표 1.1.5】 터널 종점부 손상현황 ····· Ⅲ-12
【표 1.1.6】 지보패턴별 균열발생 빈도 ····· Ⅲ-15
【표 1.1.7】 전체 균열발생 현황 ····· Ⅲ-16
【표 1.1.8】 횡방향 균열발생 현황 ····· Ⅲ-18
【표 1.1.9】 측벽부 수직균열 및 망상균열 발생 현황 ····· Ⅲ-19
【표 1.1.10】 철근노출 손상발생 현황 ····· Ⅲ-19
【표 1.1.11】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-20
【표 1.1.12】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-20
【표 1.1.13】 기타 손상 발생 현황 ····· Ⅲ-21
【표 1.1.14】 공동구 손상발생 현황 ····· Ⅲ-23
【표 1.1.15】 배수시설 손상발생 현황 ····· Ⅲ-24
【표 1.1.16】 도로부(포장면) 손상발생 현황 ····· Ⅲ-25
【표 1.1.17】 외관조사 결과 ····· Ⅲ-28
【표 1.1.18】 기 점검결과와 손상물량 비교표 ····· Ⅲ-29
【표 1.2.1】 고정1터널(부산) 콘크리트 비파괴시험 현황 ····· Ⅲ-30
【표 1.2.2】 비파괴강도 시험결과 ····· Ⅲ-32
【표 1.2.3】 비파괴강도시험 결과분석 ····· Ⅲ-33
【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅲ-33
【표 1.2.5】 철근탐사 시험결과 ····· Ⅲ-34
【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석 ····· Ⅲ-34
【표 1.2.7】 탄산화깊이 측정결과 및 평가 ····· Ⅲ-35
【표 1.2.8】 탄산화깊이 기 점검결과와의 비교 ····· Ⅲ-36
【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가 ····· Ⅲ-36
【표 1.2.10】 균열깊이 측정결과 ····· Ⅲ-37
【표 1.2.11】 고정1터널(부산) 종단측량 결과 ····· Ⅲ-38
【표 1.2.12】 고정1터널(부산) 내공변위 측량 결과 ····· Ⅲ-39
【표 1.2.13】 현장시험 결과 요약 ····· Ⅲ-41
【표 1.2.14】 현장시험 기 점검('13년)결과 비교 ····· Ⅲ-42
【표 1.3.1】 탐사구간 및 연장 ····· Ⅲ-43
【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅲ-44
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과 ····· Ⅲ-44
【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부) ····· Ⅲ-46
【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부) ····· Ⅲ-47
【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선) ····· Ⅲ-49
【표 1.3.7】 이상반사파 탐사구간 ····· Ⅲ-49
【표 1.3.8】 강지보공 탐사구간 ····· Ⅲ-50
【표 2.2.1】 콘크리트라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-54
【표 2.2.2】 콘크리트라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-58

【표 2.2.3】 터널주변 배수상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-62
【표 2.2.4】 터널주변 지반상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-62
【표 2.2.5】 터널주변 갱문상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-62
【표 2.2.6】 터널주변 공동구상태 결함점수 산정 결과 ····· Ⅲ-62
【표 2.2.7】 피난연락갱 라이닝의 균열, 누수, 파손 및 손상에 대한 상태평가 산정 결과 ···· Ⅲ-63
【표 2.2.8】 피난연락갱 라이닝의 재질열화에 대한 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-63
【표 2.2.9】 기본시설 상태평가 산정 결과 ····· Ⅲ-63
【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과 ····· Ⅲ-64
【표 2.2.11】 부대시설 상태평가 결과 ····· Ⅲ-64
【표 2.2.12】 전체시설물의 상태평가 결과 ····· Ⅲ-64
【표 2.2.13】 기 점검('13년) 결과와의 상태평가 결과 비교 ····· Ⅲ-65
【표 3.1.1】 안전성 평가항목 ····· Ⅲ-69
【표 3.2.1】 지반의 종류에 따른 탄성계수 ····· Ⅲ-75
【표 3.2.2】 지반의 종류에 따른 탄성계수 및 포아송비 ····· Ⅲ-75
【표 3.2.3】 지반의 탄성계수와 N치와의 관계 ····· Ⅲ-75
【표 3.2.4】 통일분류법으로 분류한 지반상태에 따른 일반적인 토질정수 ····· Ⅲ-76
【표 3.2.5】 N치, 상대밀도 및 내부마찰각의 관계 ····· Ⅲ-77
【표 3.2.6】 N치를 이용한 내부마찰각(ϕ)의 추정식 ····· Ⅲ-77
【표 3.2.7】 고정1터널 설계 적용 지반정수 ····· Ⅲ-77
【표 3.2.8】 지보재 재료특성 ····· Ⅲ-78
【표 3.2.9】 하중분배율 ····· Ⅲ-78
【표 4.1.1】 종합평가 등급 변화 비교 ····· Ⅲ-105
【표 4.2.1】 시설물의 안전등급 ····· Ⅲ-106
【표 5.1.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 ····· Ⅲ-110
【표 5.2.1】 보수・보강 우선순위 결정 기준 ····· Ⅲ-111
【표 5.2.2】 보수・보강 일람표 ····· Ⅲ-113
【표 5.2.3】 표면보수 재료목록 ····· Ⅲ-114
【표 5.2.4】 KS F 4923(콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지) ····· Ⅲ-116
【표 5.2.5】 저압・저속식 주입방법 ····· Ⅲ-117
【표 5.2.6】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도 ····· Ⅲ-117
【표 5.2.7】 일반적인 주입파이프의 간격 ····· Ⅲ-117
【표 5.2.8】 균열주입공법 비교 ····· Ⅲ-118
【표 5.2.9】 콘크리트 단면보수 공법 비교 ····· Ⅲ-121
【표 5.3.1】 보수・보강 개략공사비 ····· Ⅲ-127
【표 5.4.1】 점검주기 및 주요 조사항목 ····· Ⅲ-132
【표 5.4.2】 등급별 실시주기 ····· Ⅲ-132
【표 5.4.3】 부재별 유지관리 중점사항 ····· Ⅲ-133

그 림 목 차

- 제 I 편 공통편 -

【그림 1.3.1】 정밀안전진단 과업수행 흐름도 ····· I -5
【그림 1.4.1】 고정1터널(대구) 종·평면도(1)····· I -8
【그림 1.4.2】 고정1터널(대구) 종·평면도(2)····· I -9
【그림 1.4.3】 고정1터널(부산) 종·평면도(1)····· I -10
【그림 1.4.4】 고정1터널(부산) 종·평면도(2)····· I -11
【그림 1.4.5】 고정1터널 라이닝 표준단면도····· I -12
【그림 1.4.6】 고정1터널 표준지보패턴도····· I -13
【그림 1.4.7】 고정1터널 지보패턴개요도····· I -14
【그림 1.4.8】 고정1터널 표준지보공도(1)····· I -15
【그림 1.4.9】 고정1터널 표준지보공도(2)····· I -16
【그림 1.4.10】 고정1터널 표준지보공도(3)····· I -17
【그림 1.4.11】 고정1터널 표준지보공도(비상주차대, 피난연락갱)····· I -18
【그림 1.4.12】 고정1터널 라이닝 철근보강도····· I -19
【그림 1.4.13】 고정1터널 갱문 구조도(1)····· I -20
【그림 1.4.14】 고정1터널 갱문 구조도(2)····· I -21
【그림 1.4.15】 고정1터널 방수 및 배수상세도····· I -22
【그림 1.4.16】 고정1터널 공동구 및 배수구 상세도····· I -23
【그림 1.6.1】 터널 기호의 정의····· I -25
【그림 2.2.1】 고정1터널 현황(대구)····· I -40
【그림 2.2.2】 고정1터널 현황(부산)····· I -41
【그림 3.2.1】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차····· I -59
【그림 3.2.2】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차····· I -62
【그림 3.2.3】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법····· I -62
【그림 3.2.4】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정 ····· I -63
【그림 3.2.5】 철근탐사 측정원리····· I -65
【그림 3.2.6】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차····· I -65
【그림 3.2.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하····· I -67
【그림 3.2.8】 Tc-To법에 의한 탐촉자 배치 및 균열깊이 측정방법····· I -71
【그림 3.3.1】 G.P.R 신호처리 시스템····· I -73

【그림 3.3.2】 G.P.R 탐사모식도 ····· Ⅰ-74
【그림 3.3.3】 G.P.R 단면도 예 ····· Ⅰ-76
【그림 3.3.4】 콘크리트 라이닝 경계면 탐사모식도 ····· Ⅰ-77
【그림 3.3.5】 공동 탐사 예 ····· Ⅰ-77
【그림 3.3.6】 철근 탐사 예 ····· Ⅰ-78
【그림 3.3.7】 강지보공 탐사 예 ····· Ⅰ-78
【그림 4.2.1】 부대시설 분류 ····· Ⅰ-84
【그림 4.2.2】 상태평가 결과 산정절차 ····· Ⅰ-94
【그림 5.1.1】 종합평가 결과 산정 흐름도 ····· Ⅰ-99

- 제 Ⅱ 편 고정1터널(부산) -

【그림 1.1.1】 Span별 시공현황 ····· Ⅱ-7
【그림 1.2.1】 고정1터널(대구) 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· Ⅱ-33
【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과 ····· Ⅱ-35
【그림 1.2.3】 고정1터널(대구) 탄산화깊이 측정결과 ····· Ⅱ-37
【그림 1.2.4】 염화물시험 측정결과 ····· Ⅱ-39
【그림 1.3.1】 터널 측선도 ····· Ⅱ-45
【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께부족구간(S10~S12) ····· Ⅱ-47
【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S118~S121) ····· Ⅱ-47
【그림 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S69~S71) ····· Ⅱ-48
【그림 1.3.5】 이상반사파 탐사결과(S4) ····· Ⅱ-52
【그림 2.1.1】 Span별 시공현황 및 구간분할(대구) ····· Ⅱ-57
【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도 ····· Ⅱ-75
【그림 3.2.2】 요소좌표계 ····· Ⅱ-77
【그림 3.2.3】 Truss 요소 ····· Ⅱ-77
【그림 4.1.1】 종합평가 결과 산정 ····· Ⅱ-109
【그림 5.2.1】 보수·보강방안 추진방향 ····· Ⅱ-116
【그림 5.2.2】 철근노출부 단면복구 개요도 ····· Ⅱ-123
【그림 5.2.3】 재료분리, 파손 단면복구 개요도 ····· Ⅱ-124
【그림 5.4.1】 유지관리 흐름도 ····· Ⅱ-134

- 제 Ⅲ 편 고정1터널(부산) -

【그림 1.1.1】 Span별 시공현황 ····· Ⅲ-7
【그림 1.2.1】 고정1터널(부산) 콘크리트 내구성조사 위치도 ····· Ⅲ-31
【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과 ····· Ⅲ-33

【그림 1.2.3】 탄산화깊이 측정결과 ····· Ⅲ-35
【그림 1.2.4】 염화물시험 측정결과 ····· Ⅲ-37
【그림 1.3.1】 터널 측선도 ····· Ⅲ-43
【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S9~S11) ····· Ⅲ-45
【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S51~S53) ····· Ⅲ-45
【그림 1.3.4】 이상반사파 탐사결과(S105) ····· Ⅲ-49
【그림 2.1.1】 Span별 시공현황 및 구간분할(부산) ····· Ⅲ-53
【그림 3.2.1】 MIDAS/GTS에 의한 해석 순서도 ····· Ⅲ-71
【그림 3.2.2】 요소좌표계 ····· Ⅲ-73
【그림 3.2.3】 Truss 요소 ····· Ⅲ-73
【그림 4.1.1】 종합평가 등급산정 결과 ····· Ⅲ-105
【그림 5.2.1】보수·보강방안 추진방향 ····· Ⅲ-112
【그림 5.2.3】철근노출부 단면복구 개요도 ····· Ⅲ-119
【그림 5.2.4】재료분리, 파손 단면복구 개요도 ····· Ⅲ-120
【그림 5.4.1】유지관리 흐름도 ····· Ⅲ-130

사 진 목 차

- 제 Ⅰ 편　공통편 -

【사진 3.1.1】 외관조사 전경 ····· Ⅰ-57

- 제 Ⅱ 편　고정1터널(대구) -

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1) ····· Ⅱ-16
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2) ····· Ⅱ-18
【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3) ····· Ⅱ-20
【사진 1.1.4】 라이닝 외관조사 결과(4) ····· Ⅱ-21
【사진 1.1.5】 기타 손상 외관조사 결과 ····· Ⅱ-22
【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과 ····· Ⅱ-23
【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과 ····· Ⅱ-25
【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과 ····· Ⅱ-26
【사진 1.1.9】 부대시설 현황 ····· Ⅱ-27
【사진 1.1.10】 부대시설 외관조사 결과 ····· Ⅱ-28
【사진 1.1.11】 옥외공동구 외관조사 결과 ····· Ⅱ-29
【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경 ····· Ⅱ-32

- 제 Ⅲ 편　고정1터널(부산) -

【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1) ····· Ⅲ-16
【사진 1.1.2】 라이닝 외관조사 결과(2) ····· Ⅲ-18
【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3) ····· Ⅲ-19
【사진 1.1.4】 라이닝 외관조사 결과(4) ····· Ⅲ-21
【사진 1.1.5】 기타 손상 외관조사 결과 ····· Ⅲ-22
【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과 ····· Ⅲ-23
【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과 ····· Ⅲ-25
【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과 ····· Ⅲ-26
【사진 1.1.9】 부대시설 현황 ····· Ⅲ-27
【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경 ····· Ⅲ-30

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.

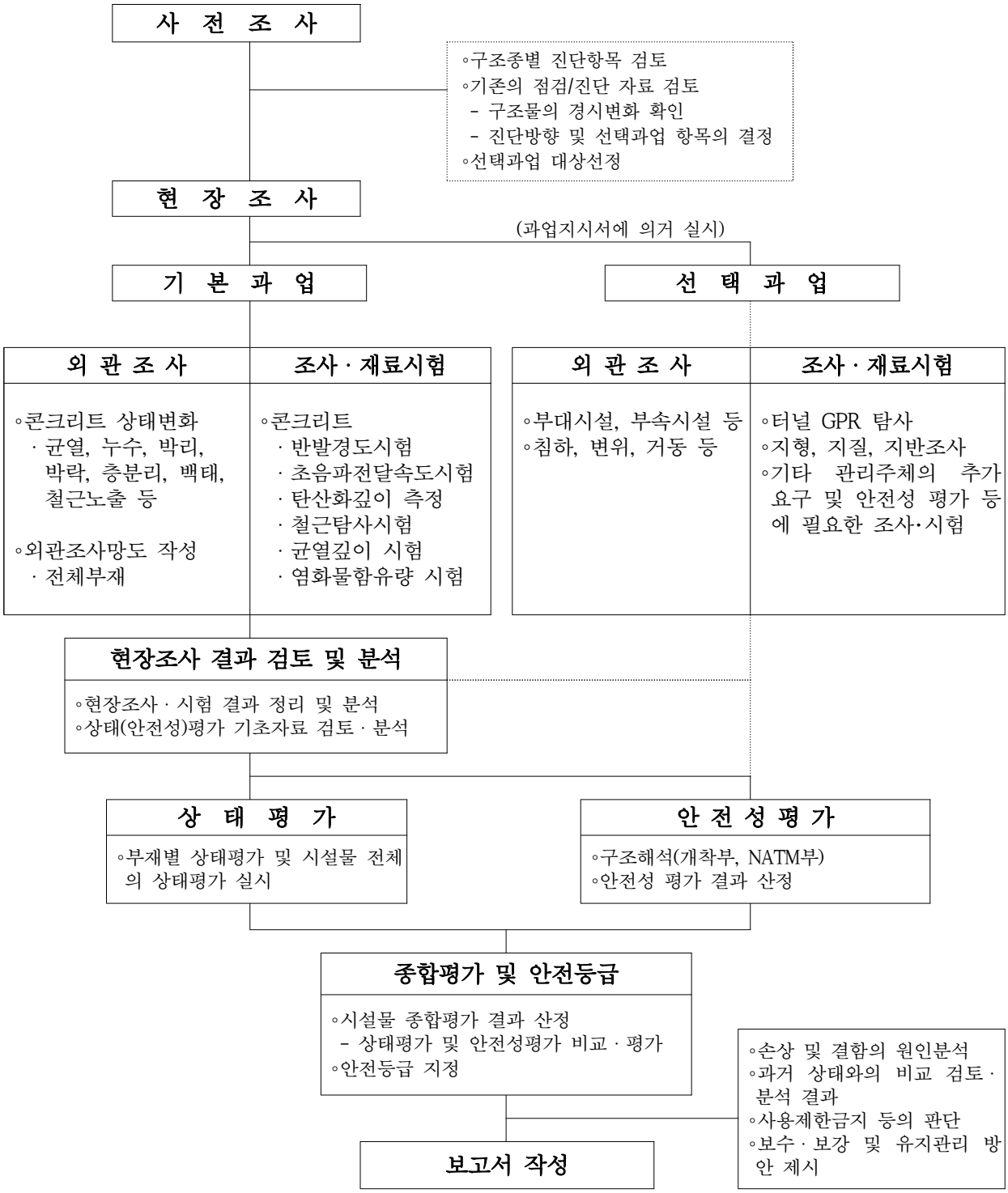
【표 1.2.1】 과업의 내용

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

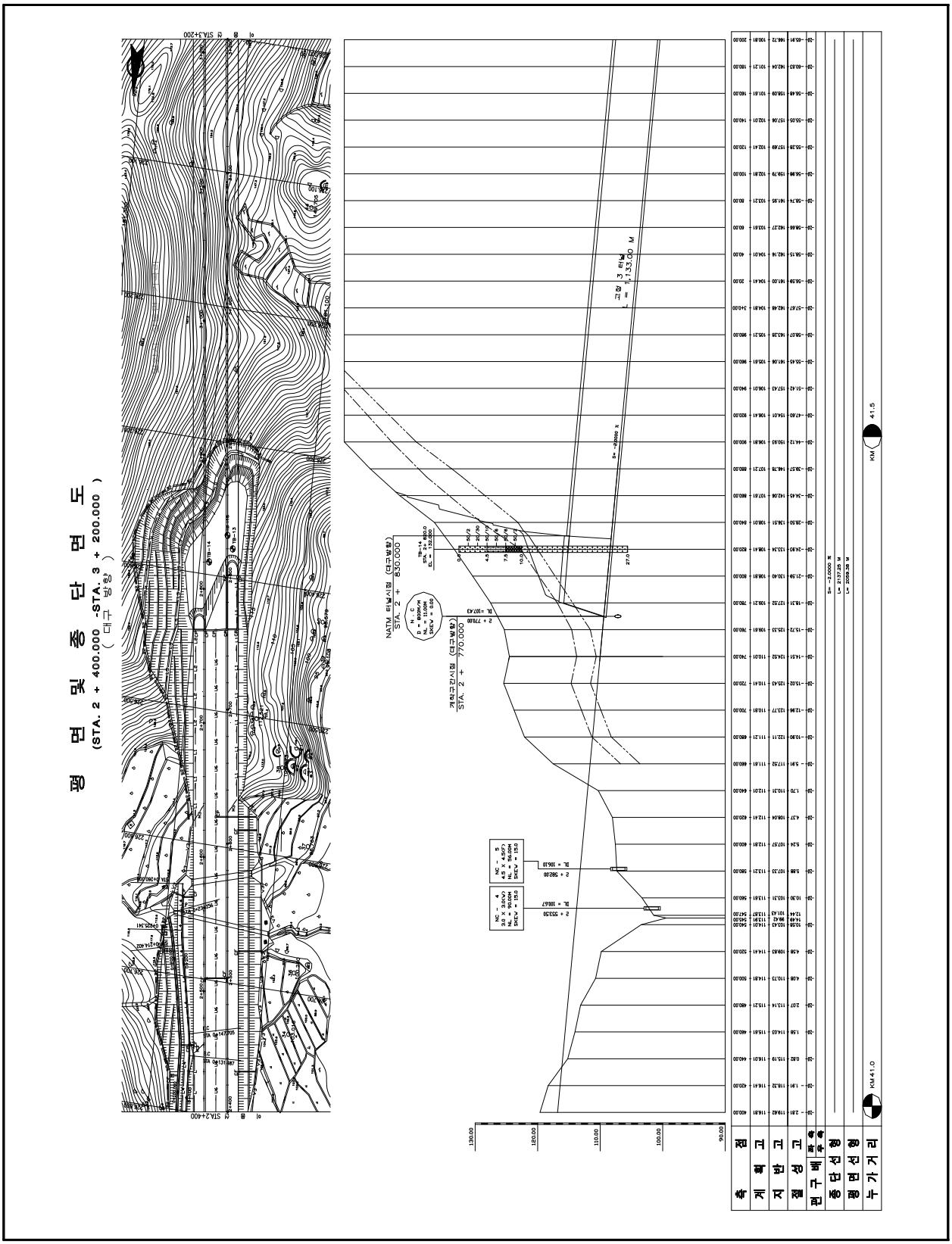
본 과업의 대상시설물인 고정1터널(대구,부산)의 현황은 다음과 같다.

【표 1.4.1】고정1터널 현황표

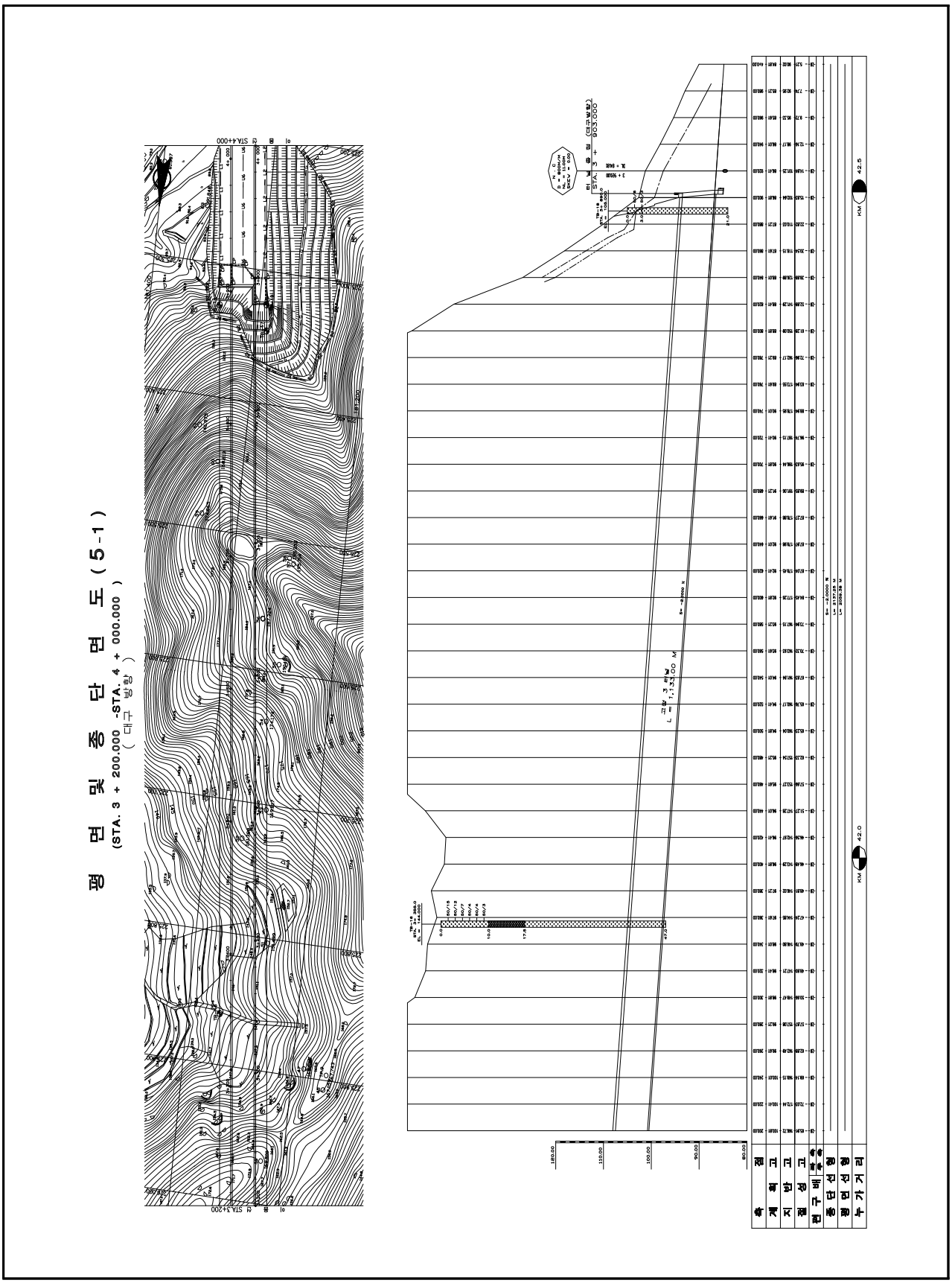
작성일 : 2015년 12월 31일

구 분	내 용	구 분	내 용
시설물번호	대구방향 : TU2006-0000210 부산방향 : TU2006-0000211	관리번호	dbw T.9
노 선 명	고속국도55호선	시 행 자	신대구부산고속도로(주)
시 점	경상남도 밀양시 상동면 가곡리 [부산기점 48.75km]	종 점	경상남도 밀양시 산외면 엄광리 [부산기점 49.89km]
터널형식	NATM	관리주체	신대구부산고속도로(주)
차 선 수	2차로	환기방식	Jet-Fan
연 장	대구방향 : 1,142m 부산방향 : 1,118m	설 계 사	선진엔지니어링(주)
내공단면	폭 : 9.8m, 높이 : 7.6m	시 공 사	현대산업개발(주)
배수형식	THP관 ∅300, 유공관 ∅200	감 리 사	한국건설관리공사, (주)용마ENG (주)동일기술공사
종단기울기	-2.000%	착 공	2001년 10월 17일
평균선형	직선	준 공	2006년 2월 10일
연결통로	횡갱 1개소	갱문형식	Bell Mouth
주요공법	숏크리트, 락볼트	보조공법	Fore poling, Pipe Roof Fre-Grouting

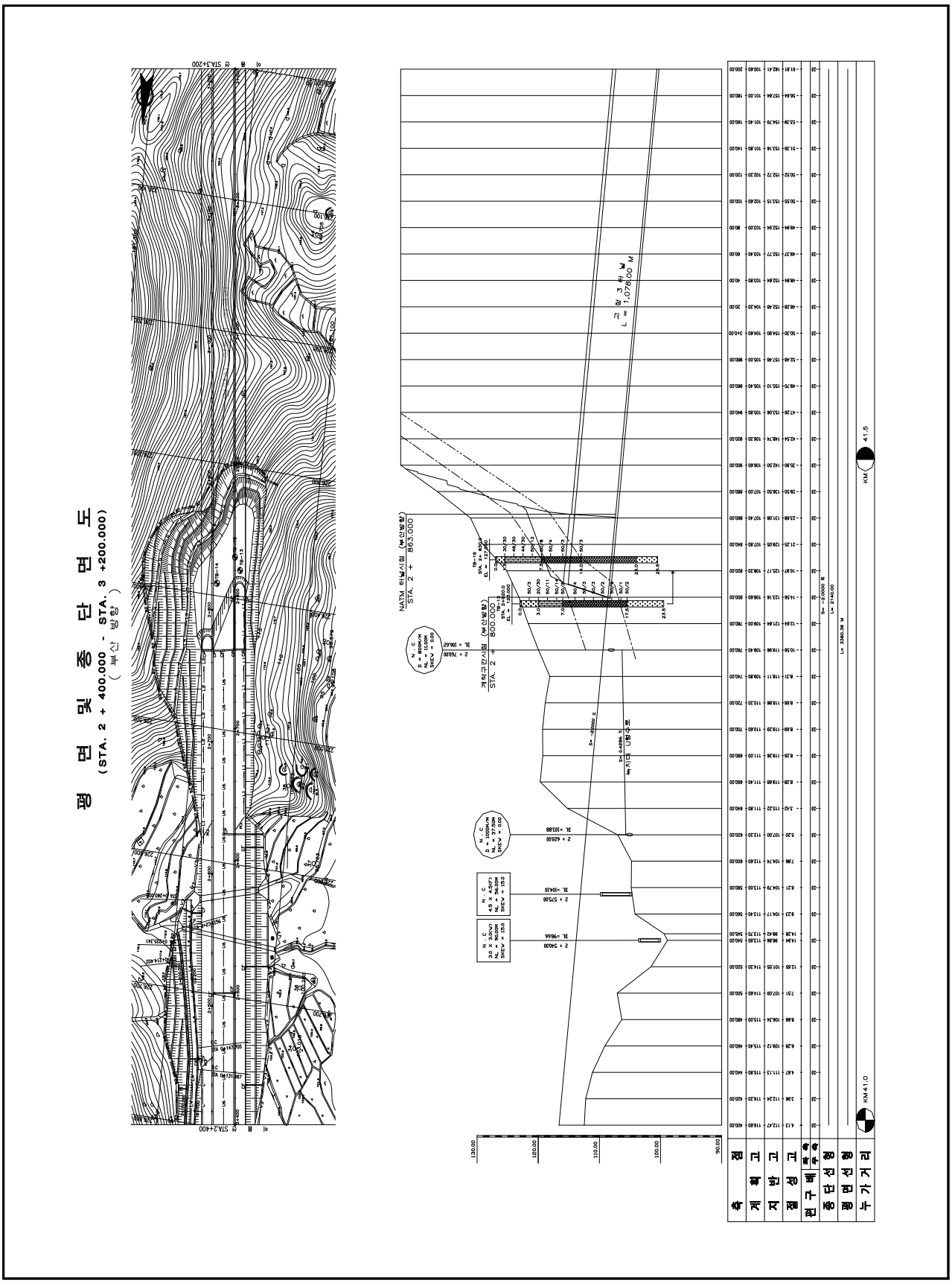
1.4.2 터널 주요도면



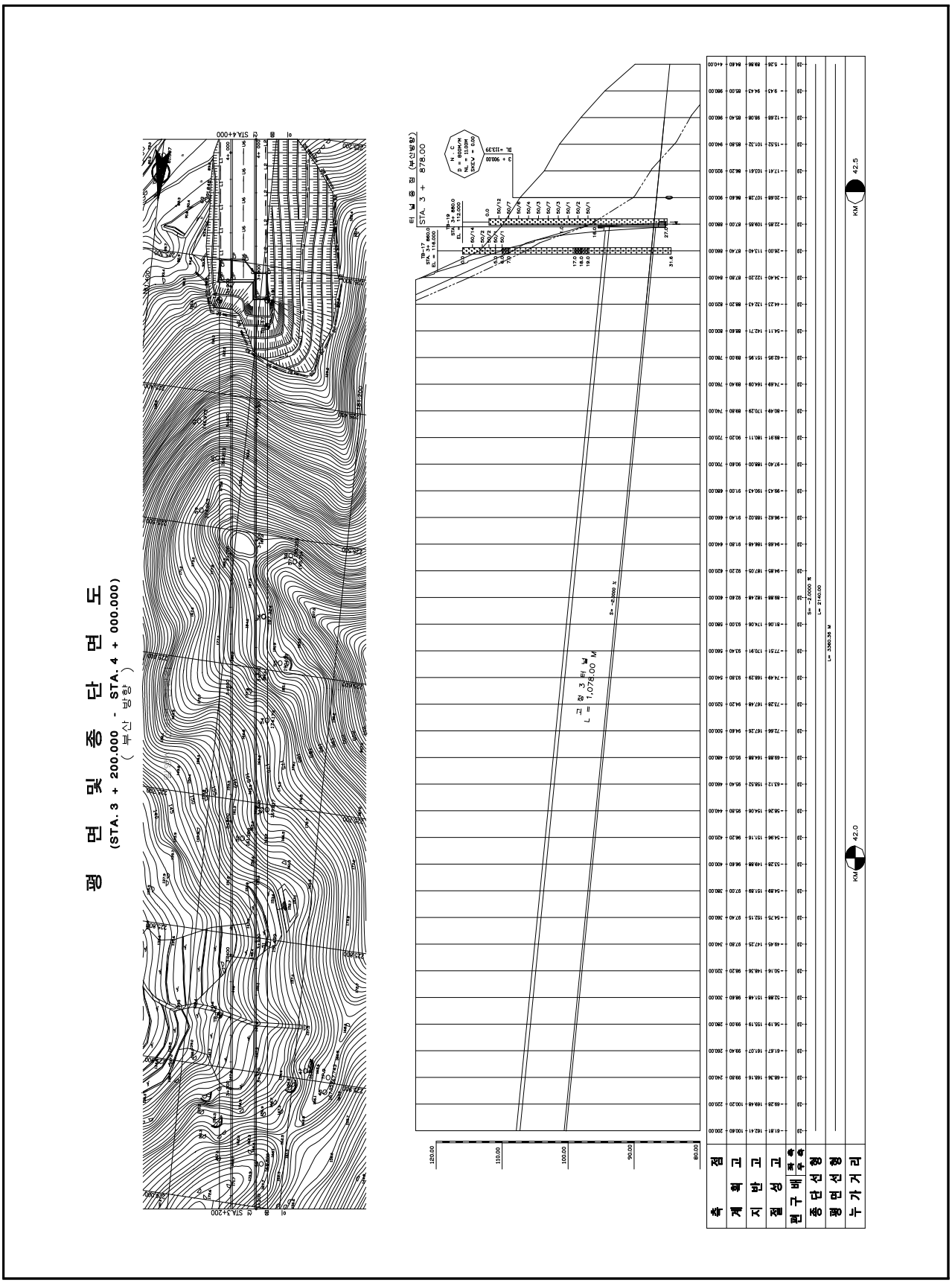
【그림 1.4.1】 고정1터널(대구) 종・평면도(1)



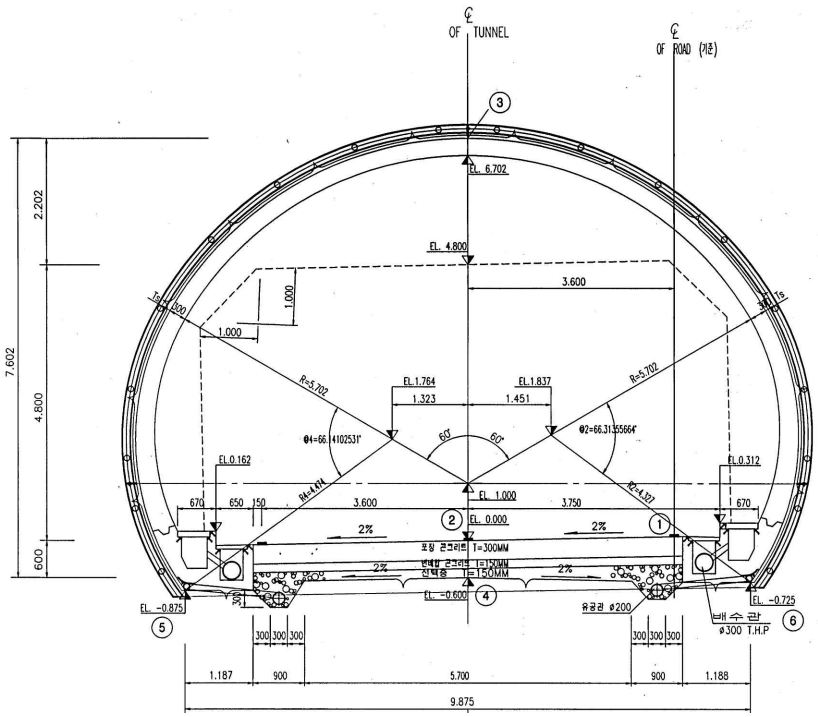
【그림 1.4.2】 고정1터널(대구) 종・평면도(2)



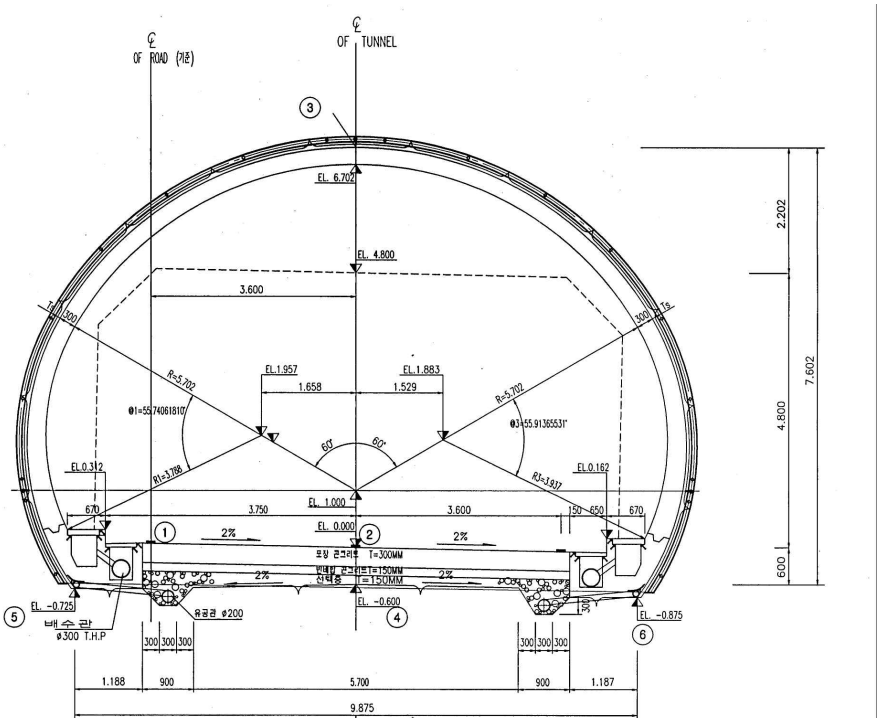
【그림 1.4.3】 고정1터널(부산) 종·평면도(1)



【그림 1.4.4】 고정1터널(부산) 종·평면도(2)

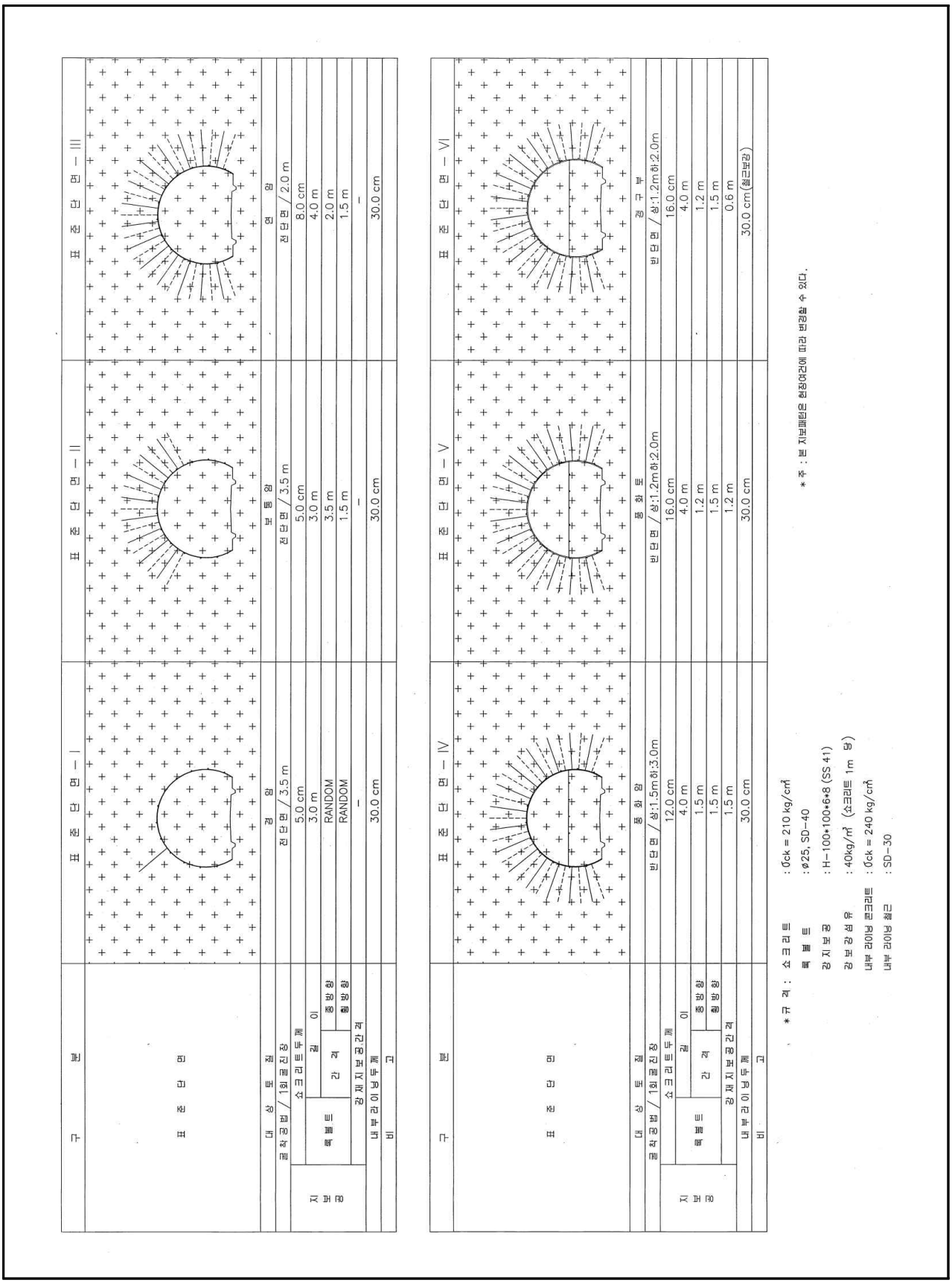


<대구방향>

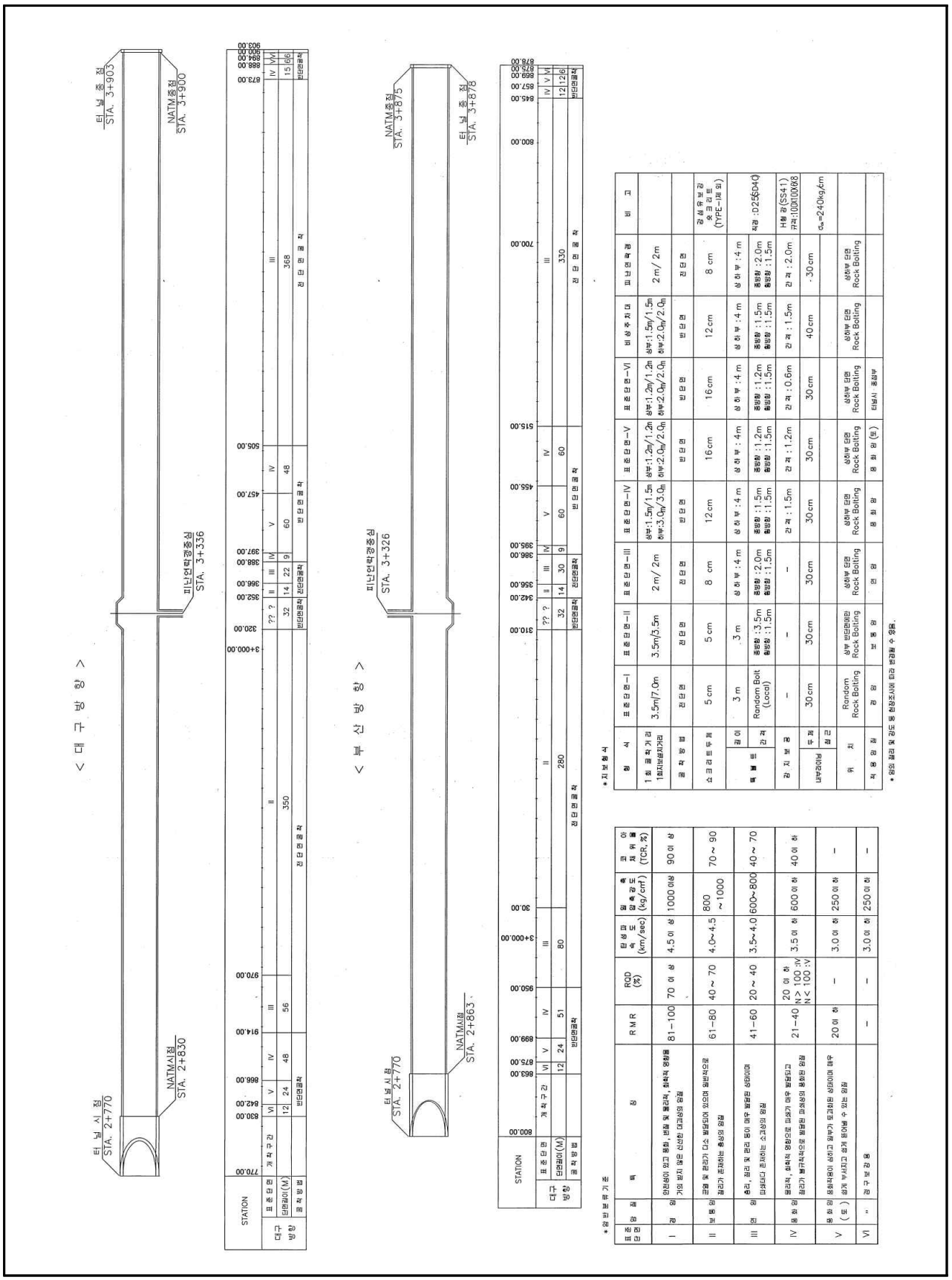


<부산방향>

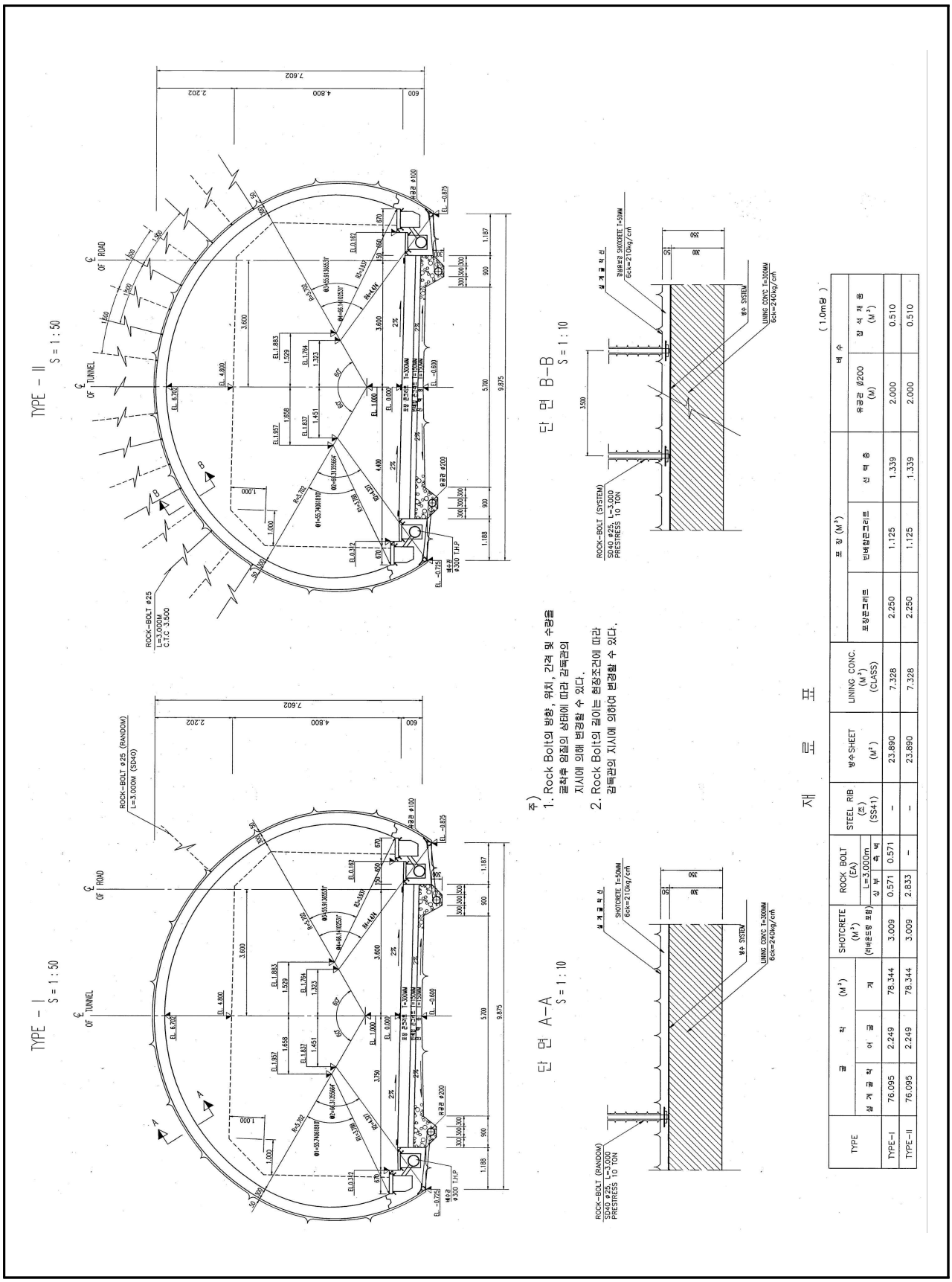
【그림 1.4.5】 고정1터널 라이닝 표준단면도



【그림 1.4.6】 고정1터널 표준지보패턴도

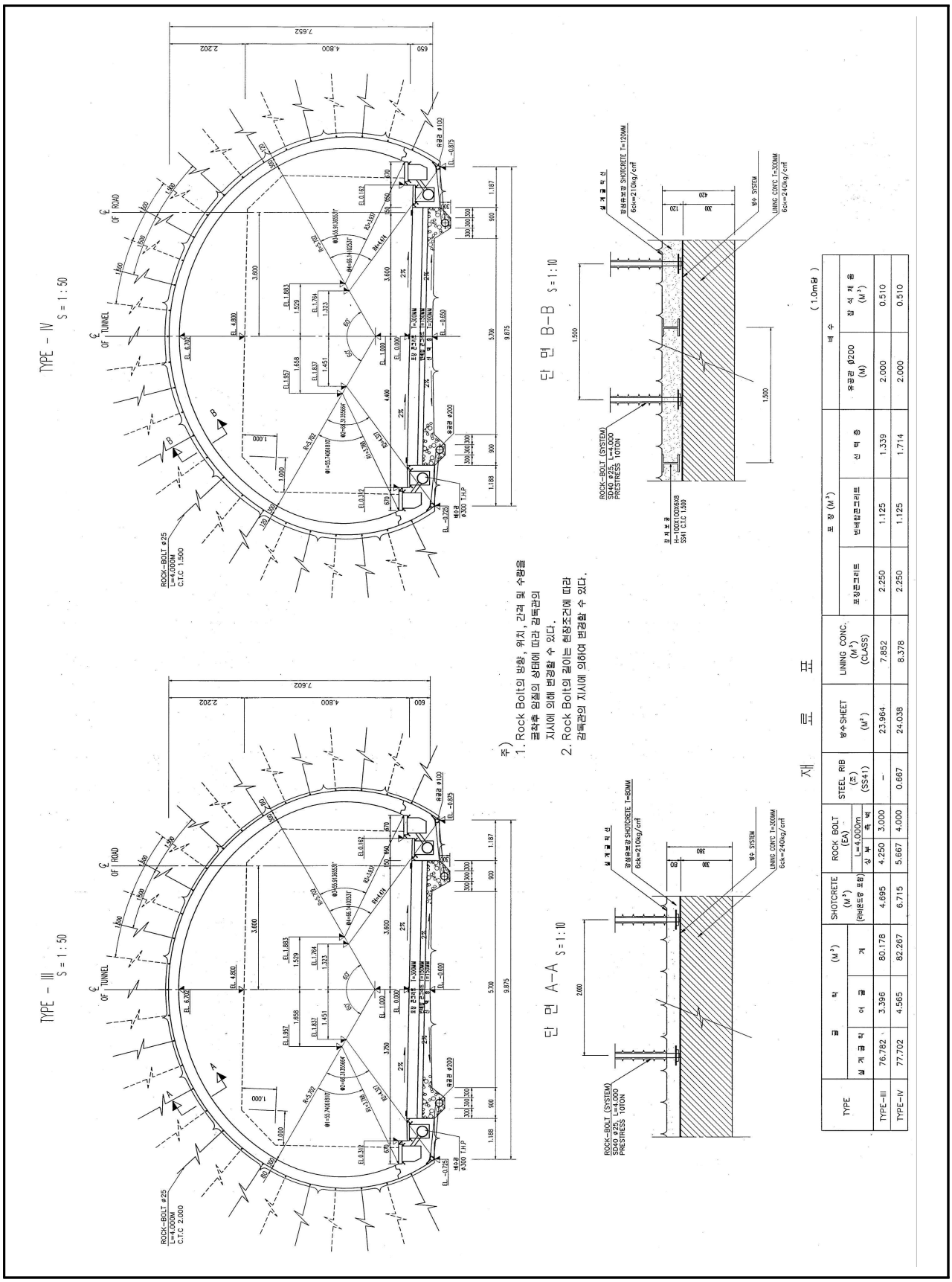


【그림 1.4.7】 고정1터널 지보패턴개요도



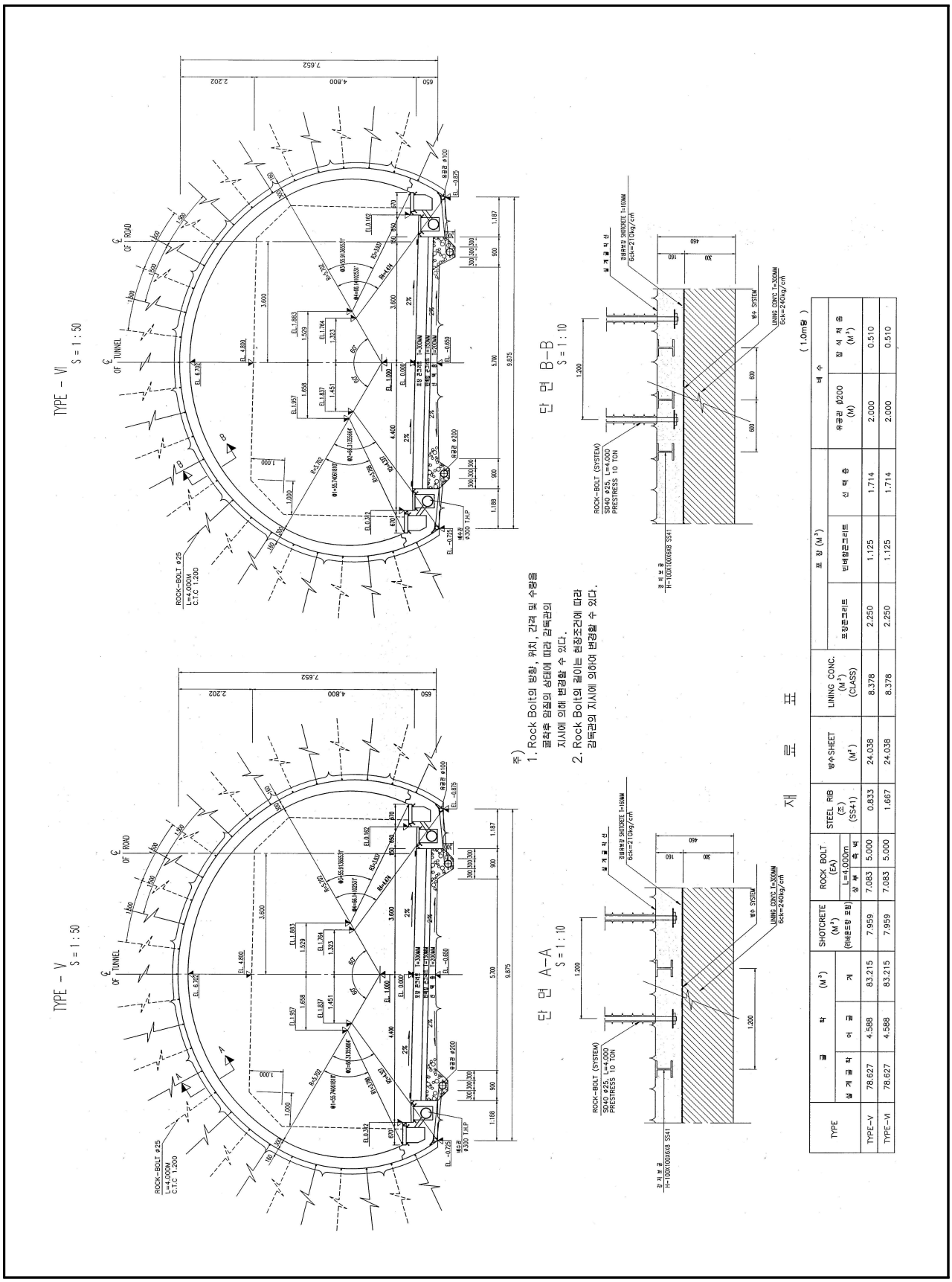
TYPE	굴 착 (M³)			SHOTCRETE (M³) (콘크리트량 포함)	ROCK BOLT (EA)		STEEL RIB (조) (SS41)	방수SHEET (M²)	LINING CONC. (M³) (CLASS)	폭 원 (M²)		벽 수		
	상계굴착	어 글	계		L=3.000m 상 부	측 벽				포장콘크리트	빈배합콘크리트	선 택 층	유공관 Ø200 (M)	집 식 재 용 (M³)
TYPE-I	76.095	2.249	78.344	3.009	0.571	0.571	-	23.890	7.328	2.250	1.125	1.339	2.000	0.510
TYPE-II	76.095	2.249	78.344	3.009	2.833	-	-	23.890	7.328	2.250	1.125	1.339	2.000	0.510

【그림 1.4.8】 고정1터널 표준지보공도(1)

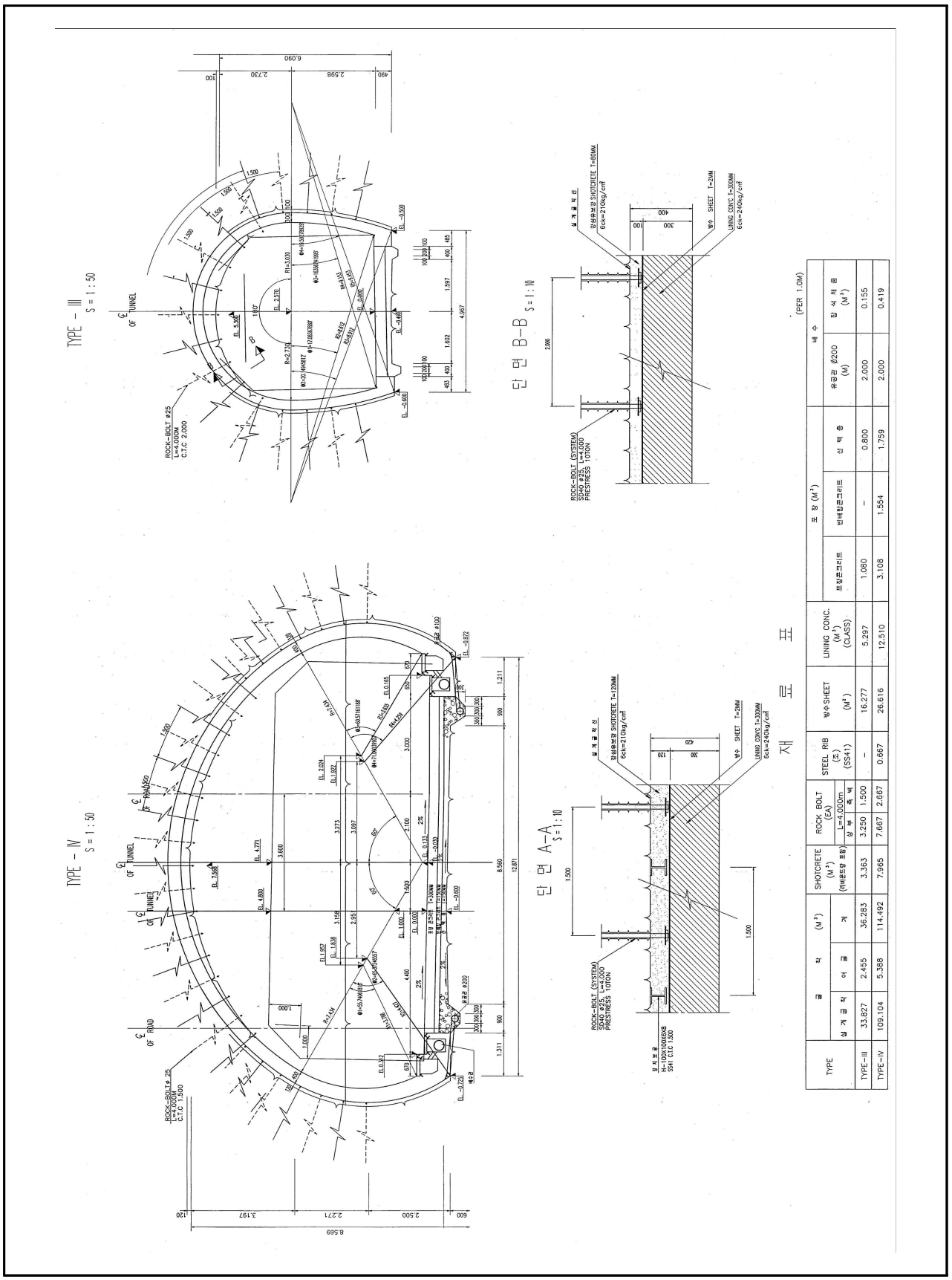


TYPE	굴 착 (M³)			SHOTCRETE (M³) (라바온도망 포함)	ROCK BOLT (EA) L=4.000m		STEEL RIB (톤) (SS41)	방수SHEET (M²)	LINING CONC. (M³) (CLASS)	폼 창 (M²)		배 수		합 석 재 움 (M³)
	점 계 급 락	어 려 움	계		상 부	측 벽				포장콘크리트	빈배합콘크리트	신 덕 중	유공관 Ø200 (M)	
TYPE-III	76.782	3.396	80.178	4.695	4.250	3.000	-	23.964	7.852	2.250	1.125	1.339	2.000	0.510
TYPE-IV	77.702	4.565	82.267	6.715	5.667	4.000	0.667	24.038	8.378	2.250	1.125	1.714	2.000	0.510

【그림 1.4.9】 고정1터널 표준지보공도(2)

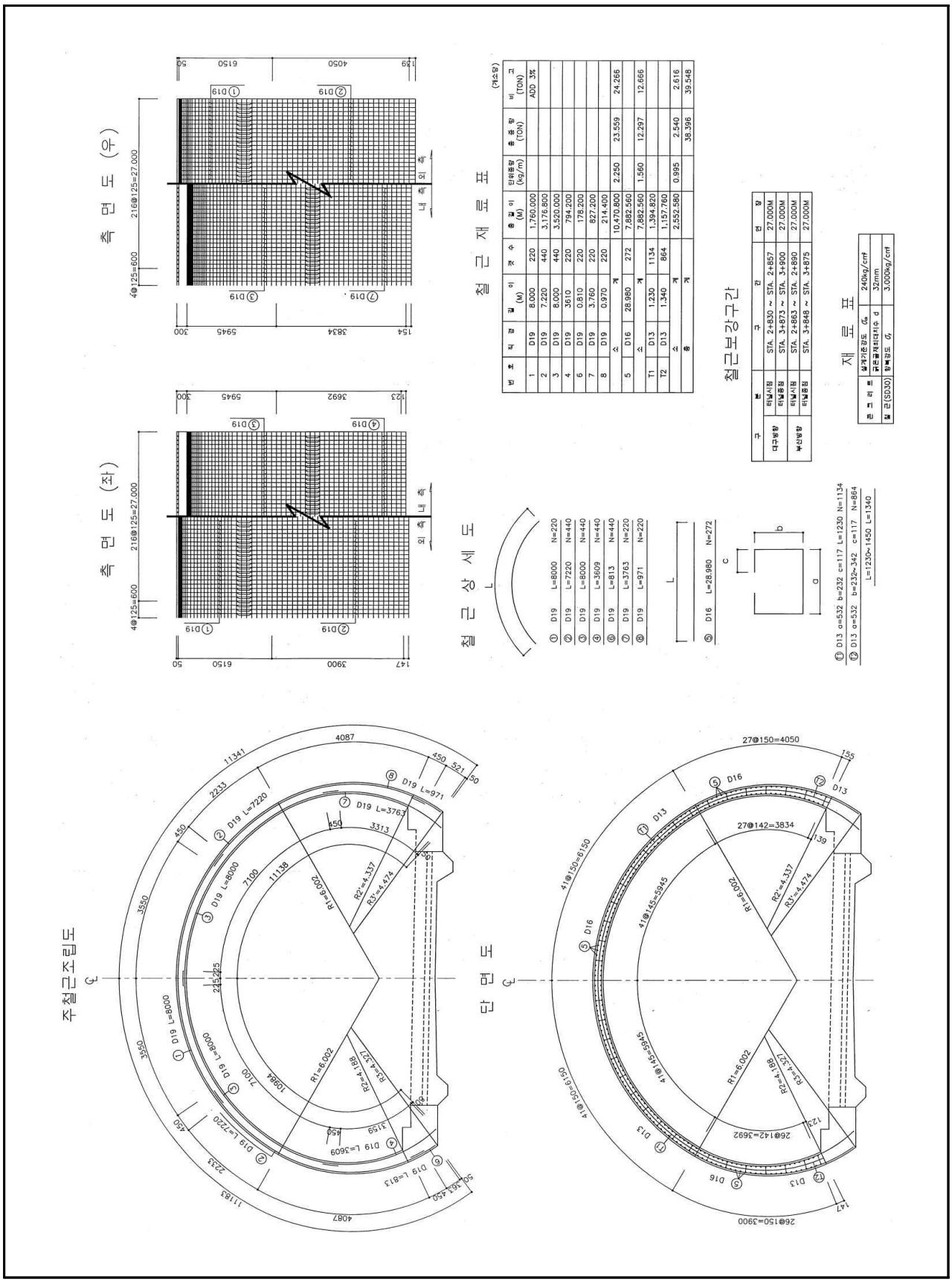


【그림 1.4.10】 고정1터널 표준지보공도(3)

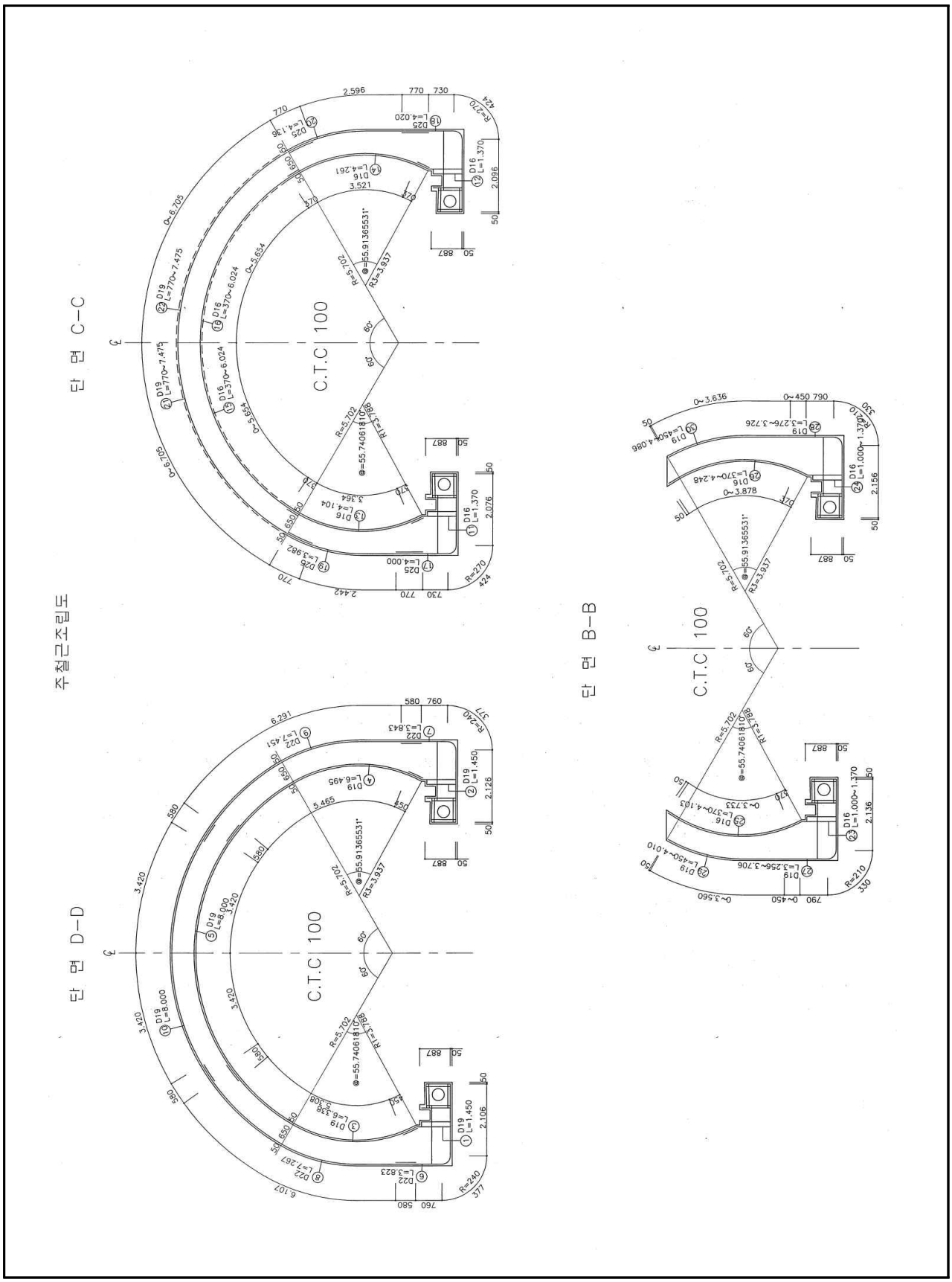


TYPE	굴 착 (M³)			SHOTCRETE (M³) (철망포함 포함)	ROCK BOLT (EA) L=4.000m		STEEL RIB (조) (SS41)	방수SHEET (M²)	LINING CONC. (M³) (CLASS)	포 장 (M²)		배 수		
	상 계 굴 착	어 귀	계		상 부	측 벽				포장콘크리트	빈배합콘크리트	신 택 층	유공관 Ø200 (M)	집 석 재 료 (M³)
TYPE-III	33.827	2.455	36.283	3.363	3.250	1.500	-	16.277	5.297	1.080	-	0.800	2.000	0.155
TYPE-IV	109.104	5.388	114.492	7.965	7.667	2.667	0.667	26.616	12.510	3.108	1.554	1.759	2.000	0.419

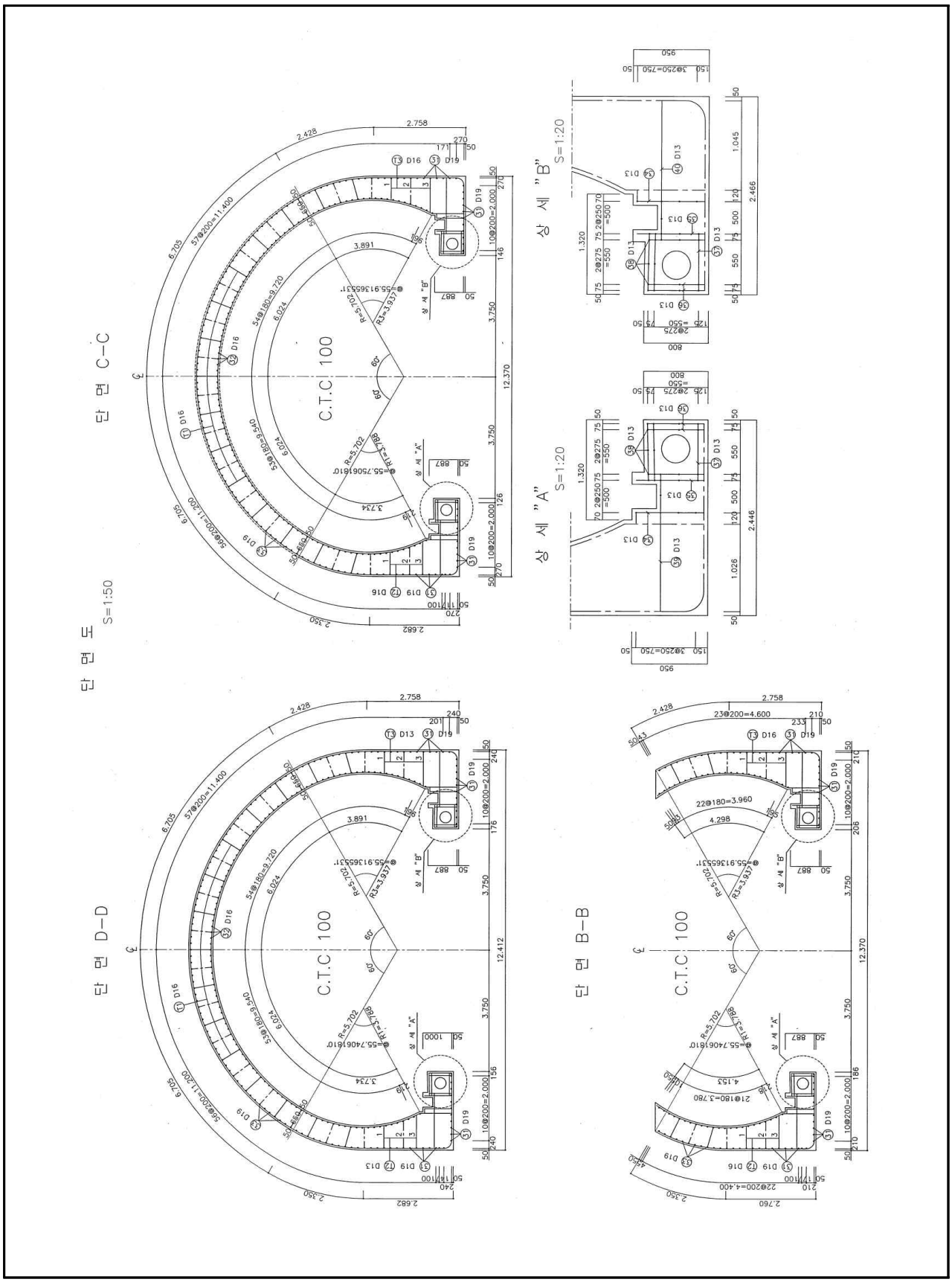
【그림 1.4.11】 고정1터널 표준지보공도(비상주차대, 피난연락갱)



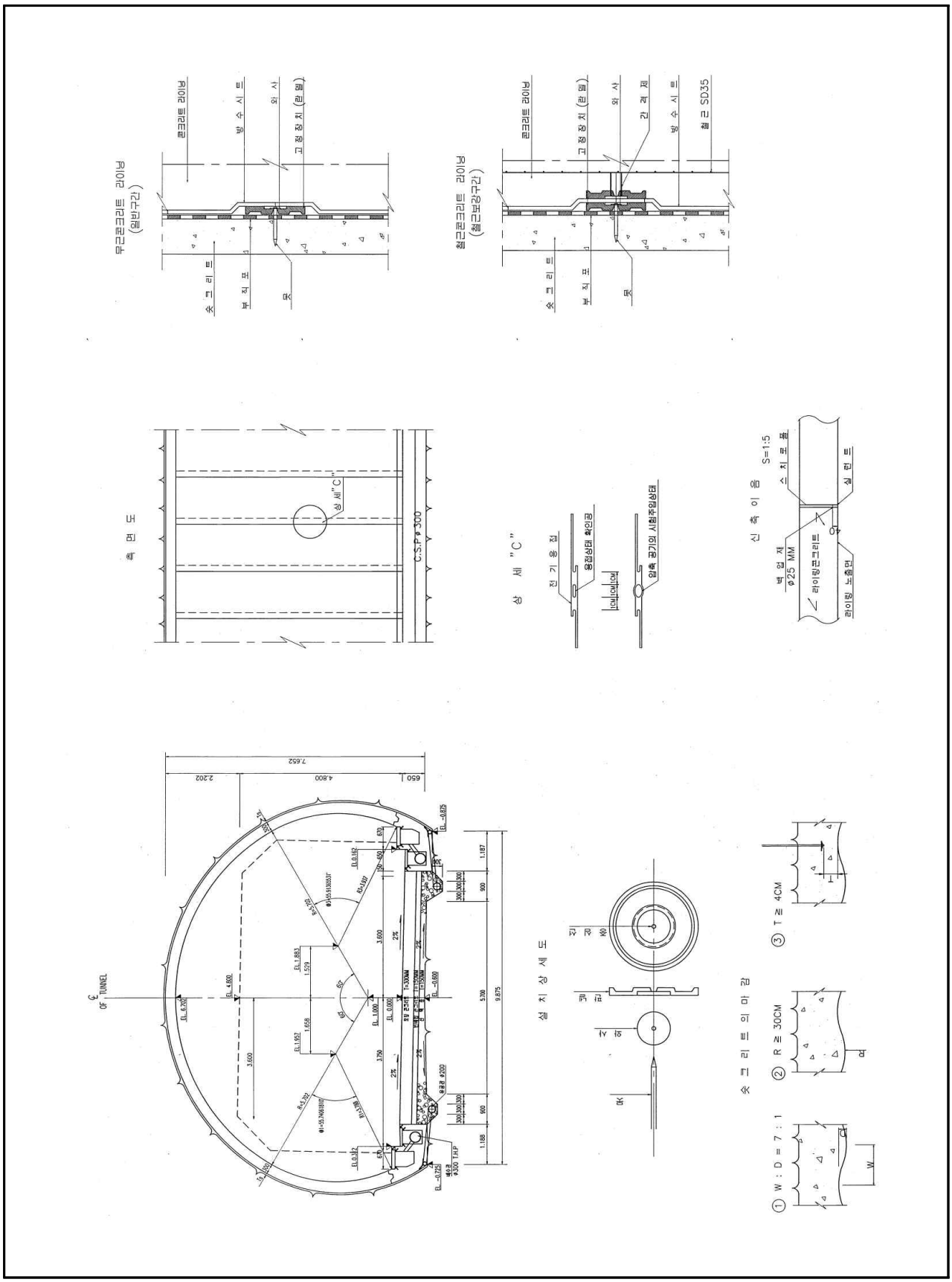
【그림 1.4.12】 고정1터널 라이닝 철근보강도



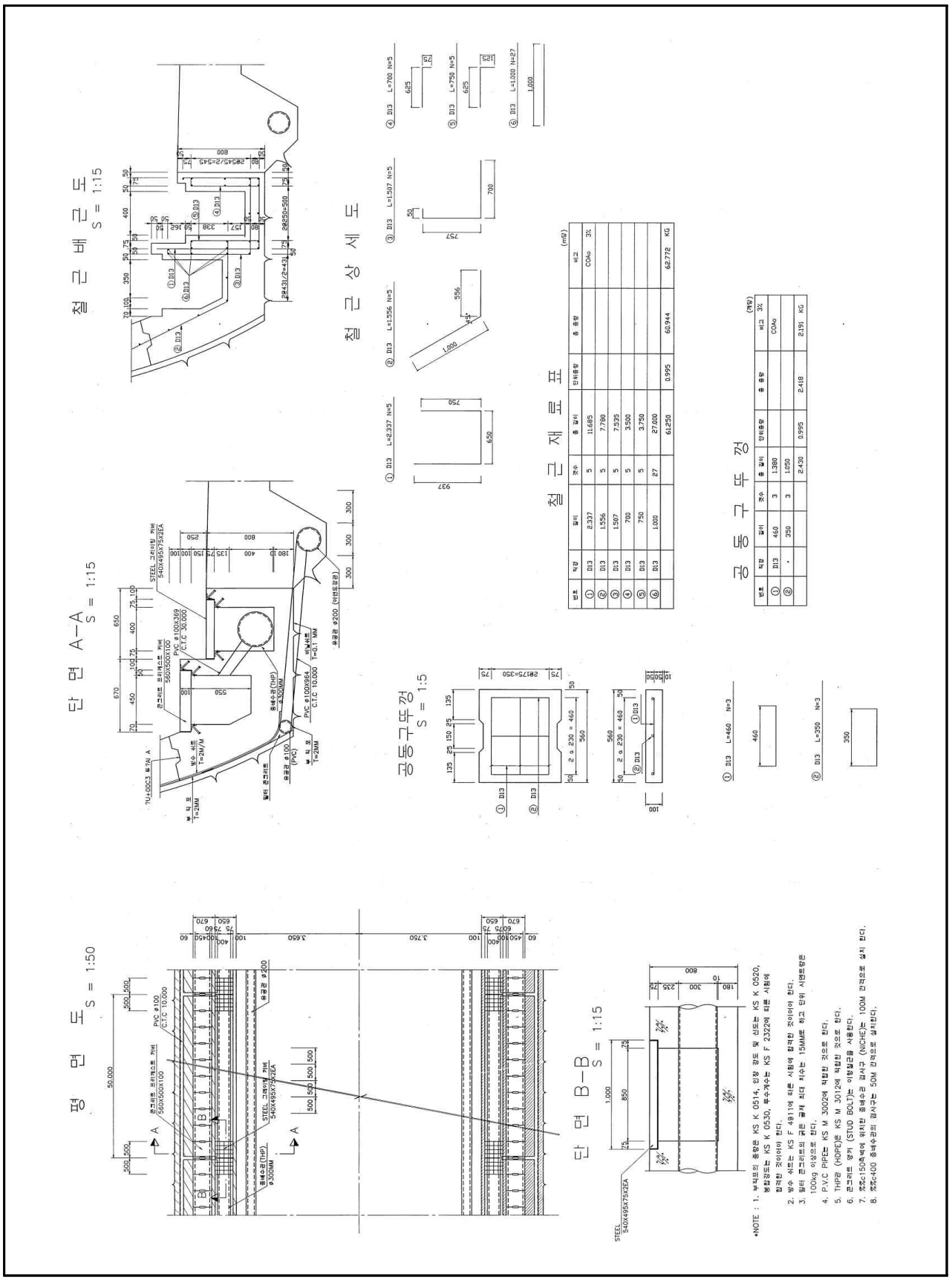
【그림 1.4.13】 고정1터널 갱문 구조도(1)



【그림 1.4.14】 고정1터널 갱문 구조도(2)



【그림 1.4.15】 고정1터널 방수 및 배수상세도



【그림 1.4.16】 고정1터널 공동구 및 배수구 상세도

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			

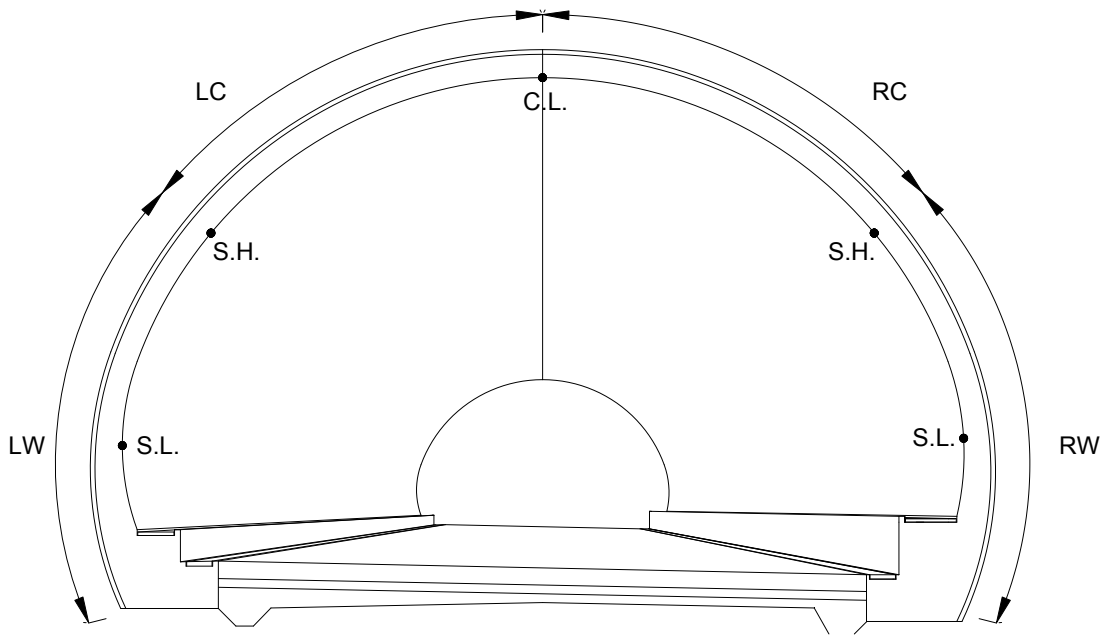
반발경도 측정기	초음파 측정기(Pundit)	철근 탐지기	탄산화 시험기
GPR탐사기	광파기	균열폭 현미경	카메라

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

2.5 내진설계 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 고정1터널은 신대구-부산간 구간의 제7공구에 해당된다.

나. 시설물의 설계 및 계획

1) 터널 단면

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

금회 진단대상 구조물인 고정1터널의 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-고정1터널

대구방향-기계환기(Jet Fan 5대)	부산방향-기계환기(Jet Fan 5대)
◇ 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 중앙부에 1개소가 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	·점합부에서의 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 0.45×0.55로 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 바닥 슬래브 하면 유공관(Φ200)으로 유도하여 배수토록 하였다.

5) 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 해석 및 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 고정1터널의 단면이 해석되었다.

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. 48k+743 ~ Sta. 49k+885	입구부:벨마우스, 출구부:벨마우스
포항방향	Sta. 48k+737 ~ Sta. 49k+855	입구부:벨마우스, 출구부:벨마우스

② 지형

본 지역의 지형은 전반적으로 동부가 높고 서부가 비교적 낮은 지세로 산계의 발달을 보면 중산(△648m) 부근에서는 보두산, 낙화산, 용암산 등이 불규칙하게 연결되어 있으며 남쪽으로 향하여 고도가 낮아지는 산계를 이루고 있다. 산성산 일대에서는 산성산까지 이어진 북서방향의 뚜렷한 능선의 발달이 확인된다. 수계의 발달을 보면 노선 좌측으로 노선과 거의 평행하게 밀양강이 흐르고 있으며, 노선 종점부근을 가로지르는 동천이 밀양강으로 유입되면서 넓은 충적평야를 형성하고 있다.

③ 지층

본 조사지역을 구성하고 있는 지층으로는 부지조성을 위하여 인위적으로 매립한 매립층(Fill), 유수의 작용에 의해 퇴적물이 운반, 퇴적되어 형성된 충적층(Alluvium), 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집적되어 저지대를 불규칙하게 덮은 지층인 붕적층(Colluvium)과 기반암인 풍화대(Weathered Zone : 풍화토(Weathered Soil), 풍화암(Weathered Rock)), 연암(Soft Rock), 경암(Hard Rock)으로 구성되어있다.

이들 각 지층에 대한 구분은 시추조사 결과에 의하여 구분하였으며, 계획노선의 각 구간별 지층 상태를 상술하면 다음과 같다.

- 붕적층(Colluvium)

본 지층은 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집접되어 저지대에 불규칙하게 퇴적된 지층으로 전 시추공에서 확인된 지층으로 황갈색을 띠는 세립~조립질의 자갈과 소량의 호박돌 섞인 점토질모래로 구성되어 있으며 지표면(GL 0기준)으로부터 0.3~8.8m의 심도에 분포한다. 표준관입시험 결과 N값은 50/2~50/1로 나타났으나 자갈 및 호박돌에 의한 영향으로 그 값이 커진 것으로 사료되어 분석에서 제외한다.

- 풍화토(Weathered Soil)층

본 지층은 기반암의 최상부 풍화대로 TB-18 시추공에서만 확인되었으며, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 1.9m 이하에 분포하여 8.7m 심도에 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며 풍화정도는 완전히 풍화된 상태이다. 표준관입시험 결과 N값은 50/25~50/11로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 6.8m로 확인되었고 풍화암층과는 편의상 표준관입시험 값 50/15를 기준으로 분류하였다.

- 풍화암(Weathered Rock)층

본 지층은 TB-18번 시추공에서 확인되었으며, 암갈색, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 8.7m의 심도에 분포하여 14.0m 까지 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며 풍화정도는 상당히 풍화된 상태이고 일반적으로 심

도가 증가함에 따라 풍화정도가 적어지면서 기반암으로 정의된다. 표준관입시험 결과 N값은 50/7로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 5.3m로 확인되었다.

- 연암(Soft Rock)층

본 지층은 TB-18 시추공에서 확인된 지층으로 황갈색, 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 8.8~14.08m 이하에 분포하여 12.9~16.0m의 심도에 분포한다. 본 지층의 풍화정도는 약간풍화~심한풍화 상태로 조사지역에 따라 풍화정도를 달리하고 있다. 풍화가 심한 지역의 경우 절리 및 균열 등 기계적, 화학적 풍화가 동시에 이루어져 상부 연암은 비교적 파쇄구간이 폭 넓게 분포하여 대부분의 입자들이 변색되어 절리면으로부터 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있으며, 일부 지역의 경우 Open Joint 내에 점토성분의 협재하기도 한다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 40%~100%로 나타났고 암질계수(RQD:Rock Quality Designation)의 경우 5%~10%로 나타났으며 층후는 4.1m 이상으로 확인되었다.

- 경암(Hard Rock)층

본 지층은 전시추공에서 확인된 지층으로 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 0.3~16.0이하에 분포하여 21.0~32.0m의 심도에 분포한다. 본 지층의 풍화정도는 신선~약간풍화 상태로 비교적 신선한 상태의 암반이다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 100%로 나타났고 암질계수(RQD:Rock Quality Designation)의 경우 47%~53%로 나타났으며 층후는 5.0~31.7m 이상으로 확인되었다.

【표 2.2.4】 고정1터널 시추공별 지층분포

지 층	공 번	층 후 (m)	N치 (회수/cm)	비 고
붕적층	TB-17~TB-19	0.3 ~ 8.8	50/2 ~ 50/1	자갈 및 전석
풍화토	TB-18	6.8	50/25 ~ 50/11	실트질 모래
풍화암	TB-18	5.3	50/7	실트질 모래
연 암	TB-18 ~ TB-19	2.0 ~ 4.1	-	밀양안산암 화강성록암
경 암	TB-17 ~ TB-19	5.0 ~ 31.7	-	밀양안산암 화강성록암

④ 지반 물성치

본 과업에 사용된 지반 물성치는 기존 설계 자료인『부산~대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 터널보고서(제7공구:고정~가곡)』,『부산~대구간 고속도로(경산~삼람진간)건설공사 토질조사보고서(제7공구:고정~가곡)』을 적용하였다.

【표 2.2.5】 단면해석에 활용된 지반 물성치

구분	단위중량 (t/m^3)	내부 마찰각(°)	점착력 (t/m^2)	탄성계수 (t/m^2)	포아송비	측압계수	인장강도 (t/m^2)	비고
토사	1.9	25	1	2,000	0.35	0.54	2	-
풍화암	2.1	30	2	20,000	0.30	0.43	3	-
연암	2.3	35	5	200,000	0.25	0.33	5	-
경암	2.6	40	35	1,500,000	0.25	1.25	40	N30W

⑤ 지보재 물성치

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

【표 2.2.6】 단면해석에 활용된 지보재 물성치

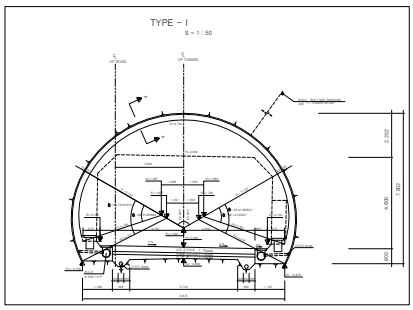
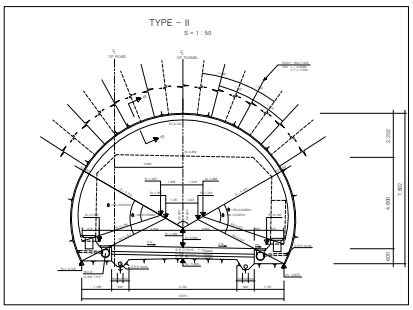
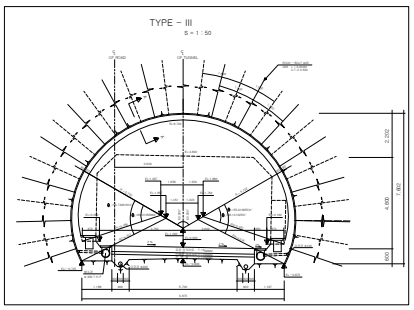
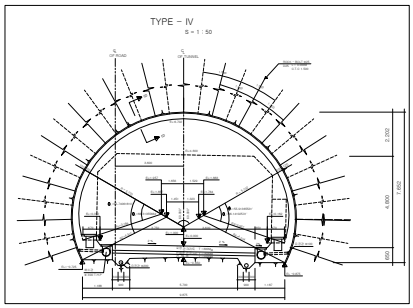
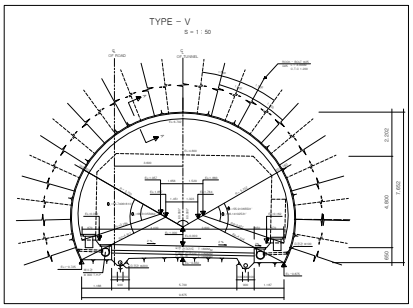
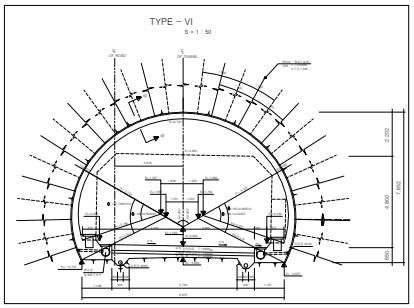
구 분	단위중량 (kN/m^3)	탄성계수 (㎫)	압축강도 (㎫)	비 고
숏크리트	24.0	5,000~15,000	10.0~21.0	-
록볼트	78.5	210,000	-	-

⑥ 표준단면별 지보공패턴

【표 2.2.7】 지보패턴

형 식		TYPE-1	TYPE-2	TYPE-3	TYPE-4	TYPE-5	TYPE-6
1회굴진거리		3.5m	3.5m	2.0m	상반:1.5m 하반:3.0m	상반:1.2m 하반:2.0m	상반:1.2m 하반:2.0m
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:3.5m 횡방향:1.5m	종방향:2.0m 횡방향:1.5m	종방향:1.5m 횡방향:1.5m	종방향:1.2m 횡방향:1.5m	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	풍화토	갱구부

【표 2.2.7】 지보패턴(계속)

					
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)		지보패턴 (TYPE-Ⅱ)		지보패턴 (TYPE-Ⅲ)	
경암	숏크리트 : 5㎝	보통암	숏크리트 : 5㎝	연암	숏크리트 : 8㎝
					
지보패턴 (TYPE-Ⅳ)		지보패턴 (TYPE-Ⅴ)		지보패턴 (TYPE-Ⅵ)	
풍화암	숏크리트 : 12㎝	품화암(토)	숏크리트 : 16㎝	갱구부	숏크리트 : 16㎝

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.

【표 2.2.8】 해석단면 위치

구 분	해석위치	지보패턴	굴착패턴	암종	상재토피고(m)	비 고
고정 1터널	Sta. 48k+788	Type-Ⅵ (Pre-grouting)	상하반단면	경암	9.77	터널 시점부
	Sta. 49k+801	Type-Ⅵ	상하반단면	풍화암, 경암	14.71	터널 종점부

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

- 고정 1터널 시점부(STA. 48k+788)의 수치해석 결과를 종합해 보면 터널 천정부 최대 변위는 KO=0.5일 때 -0.750㎜로 나타났으며, 수평변위는 KO=1.5일 때 0.492㎜로 나타났다. Shotcrete 응력은 KO=1.5 일 때 최대 1.390MPa로서 허용압축응력 8.4MPa이내이며, Rock Bolt 축력은 최대 축력은 KO=1.5 일 때 28.627kN으로 허용 축력 88.70kN 이내로 안정한 것으로 분석 되었다.

- 고정 1터널 종점부(STA. 49k+801)의 수치해석 결과를 종합해 보면 터널 천정부 최대 변위는 KO=1.5일 때 -1.975㎜로 나타났으며, 수평변위는 KO=1.5일 때 0.177㎜로 나타났다. Shotcrete 응력은 KO=1.5 일 때 최대 1.465MPa로서 허용압축응력 8.4MPa이내이며, Rock Bolt 축력은 최대 축력은 KO=1.5 일 때 1.704kN으로 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 고정 1터널은 ①, ②, ③의 세 가지를 고려하여 적용하였다.

2) 타설시기 및 두게

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

고정 1터널은 총 7개소의 시추조사를 시행하였으며, 지층은 상부로부터 퇴적층, 풍화토층, 풍화암층, 연암층 그리고 경암층으로 구성되어 있다.

퇴적층은 점토 및 실트섞인 자갈 전석층으로 지표면하 1.5~4.5m까지 분포하고 있으며 보통조밀 내지 매우조밀한 상태이다. 풍화토층은 퇴적층 하부에 3.0~6.0m의 층의 두께로 분포하고 있으며, 실트질 모래로 구성되어 있고 보통조밀 내지 매우 조밀한 상태이다. 풍화암은 지표면하 7.0~7.5m지점에 2.5~10.5m의 층의 두께로 분포하고 있으며, 완전 풍화 상태로 타격에 의해 실트 섞인 모래로 분해되고 맥암을 형성하고 있다.

연암층은 부분적으로 지표면하 14.0m 지점에 9.0m층의 두께로 분포하며 T.C.R은 10~30%이고 R.Q.D는 0~10%로 매우 불량한 상태이며 파쇄가 매우 심하다.

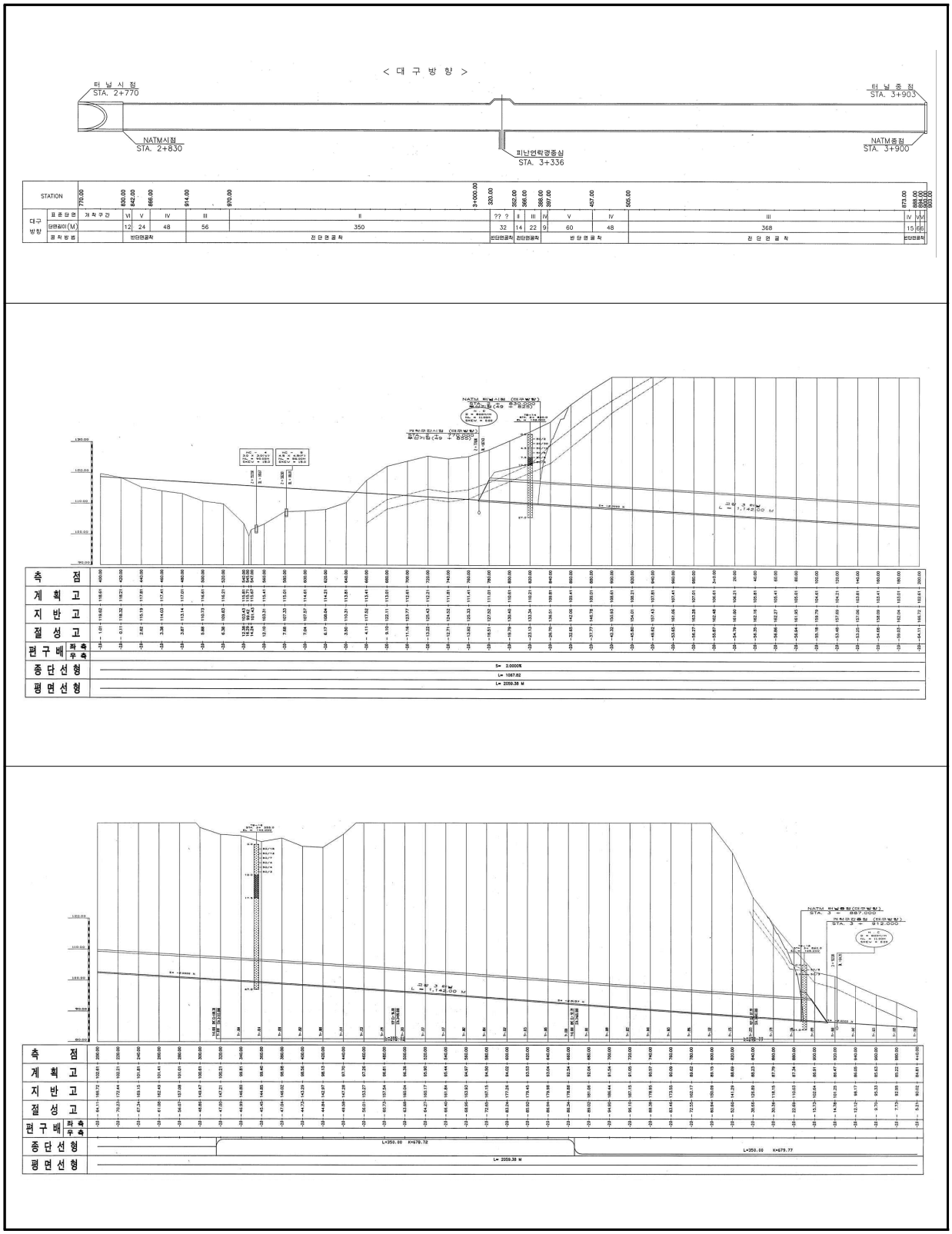
경암층은 비현정질안산암으로 이루어진 기반암층으로 지표면하 10.0~23.0m에 분포하고 있으며, 풍화정도는 보통풍화 내지 신선한 상태로 부분적으로 파쇄대가 형성되어 있다. T.C.R은 110~100%이고, R.Q.D는 0~100%로 부분적으로 코어회수가 불량하다.

탄성파 속도분포에 의한 지층분포를 보면 1층의 손도는 590～950m/sec로 이는 표토(이하 붕적층 포함)에 해당하는 거으로 판단되며 이 층의 두께는 7.0～12.0m로 전 구간에 걸쳐 나타난다.

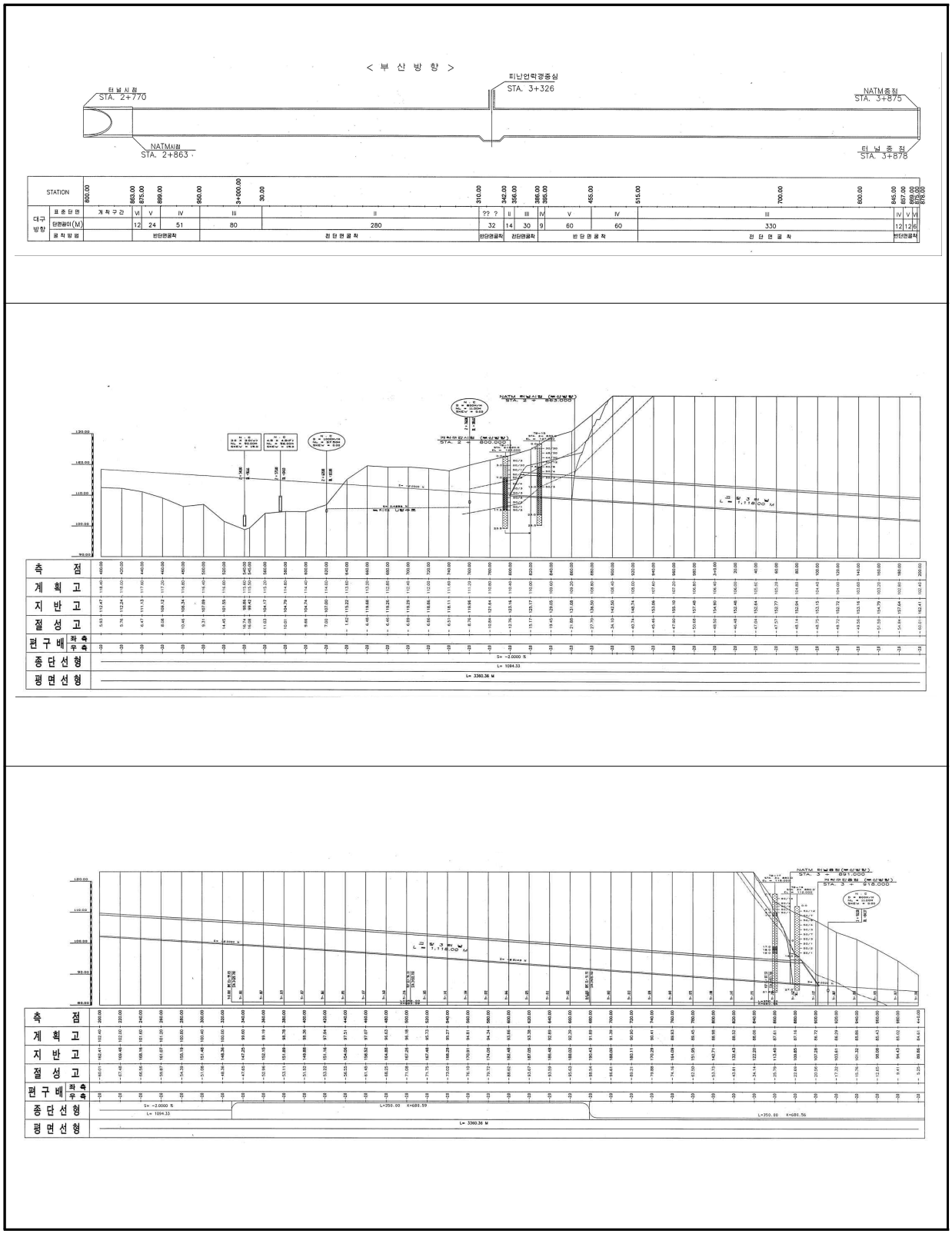
제 2층의 속도는 1,820~2,850m/sec로 풍화대, 연암, 경암 상부 파쇄대에 해당하는 거으로 판단되며 두께는 0.0~13.0m로 48k+729～48k+829, 49k+257～49k+327, 49k+634～49k+66 구간을 제회한 전 구간에 결쳐서 나타난다.

3층의 속도는 3,570~4,760m/sec로 경암에 해당하는 것으로 판단되며 차별풍화대 작용에 의하여 그 출현심도가 지역에 따라 상이하게 나타난다.

또한 49k+227～49k+257에 약대(Weak Zone)가 나타났으며, 지표지질조사 결과 48k+964 부근과 49k+664 부근에 약대가 있는 것으로 판단된다 이는 소규모의 파쇄대에 의한 것으로 사료되며 터널 굴착시 주의가 요망된다.



【그림 2.2.1】 고정1터널 현황(대구)



【그림 2.2.2】 고정1터널 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 점검이력

【표 2.3.1】 고정1터널(대구) 기 점검이력

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
1	초기점검	'05.10.28 ~ '06.04.25	㈜아워브레인	•양호	A
2	하반기 정기점검	'06.09.19 ~ '06.12.31	㈜아워브레인	•공용년수 증가로 천단 및 측벽부 기존현황에 균열 등의 손상이 추가적으로 발생	
3	상반기 정기점검	'07.05.10 ~ '07.06.30	㈜아워브레인	•양호	
4	정밀점검	'07.08.22 ~ '07.12.20	㈜아워브레인	•천단부 및 측벽부 균열, 콘크리트 박리, 타일 균열 및 파손 등이 조사됨	B
5	상반기 정기점검	'08.03.10 ~ '08.06.30	㈜아워브레인	•양호	
6	하반기 정기점검	'08.09.30 ~ '08.12.31	㈜아워브레인	•국부적인 균열, 콘크리트 박리 및 타일 파손 등의 손상이 추가 조사	
7	상반기 정기점검	'09.03.31 ~ '09.06.30	㈜아워브레인	•국부적인 균열, 콘크리트 박리 및 스켈링 등의 손상이 추가 조사	
8	정밀점검	'09.10.01 ~ '09.12.31	㈜아워브레인	•갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 발생된 상태	B
9	상반기 정기점검	'10.03.08 ~ '10.60.30	㈜아워브레인	•갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 발생된 상태	

【표 2.3.1】 고정1터널(대구) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
10	하반기 정기점검	'10.09.06 ~ '10.12.31	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 암괴, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	
11	상반기 정기점검	'11.02.10 ~ '11.06.30	㈜아워브레인	●미보수된 구간에서 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부 손상(균열, 스켈링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 암괴, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	
12	정밀점검	'11.07.29 ~ '11.12.31	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면망상균열, 조인트부 들뜸, 박락 및 반원형 균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 포장면마모, 파단 비상주차대 표지판 접합부 볼트탈락, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 등이 조사됨	B
13	상반기 정기점검	'12.02.20 ~ '12.06.30	㈜아워브레인	●보수부 재균열이 다수 발생하였으며, 라이닝부에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 균열, 누수, 백태 및 체수, 포장면 파단, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	
14	하반기 정기점검	'12.08.20 ~ '12.12.31	㈜아워브레인	●라이닝에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 누수, 백태 및 결로, 포장면 파단, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	

【표 2.3.1】 고정1터널(대구) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
15	상반기 정기점검	'13.02.25 ~ '13.06.30	㈜아워브레인	●미보수된 라이닝에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 환기구 및 연결홀 누수, 포장면 균열, 파단, 포장면 불량, 불순물 혼입, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	
16	정밀점검	'13.09.09 ~ '13.12.31	㈜아워브레인	●천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등이 조사됨	
17	상반기 정기점검	'14.02.24 ~ '14.06.30	㈜아워브레인	●천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등이 조사됨	B
18	하반기 정기점검	'14.08.18 ~ '14.12.31	㈜아워브레인	●천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 등이 조사됨	
19	상반기 정기점검	'15.03.02 ~ '15.06.30	㈜아워브레인	●천정부 종·횡방향 균열, 보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 등이 조사됨	

【표 2.3.2】 고정1터널(부산) 기 점검이력

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
1	초기점검	'05.10.28 ~ '06.04.25	㈜아워브레인	●양호	A
2	하반기 정기점검	'06.09.19 ~ '06.12.31	㈜아워브레인	●공용년수 증가로 천단 및 측벽부에 손상 현황이 추가 발생되거나 보수부 재균열이 일부 조사	
3	상반기 정기점검	'07.05.10 ~ '07.06.30	㈜아워브레인	●양호	
4	정밀점검	'07.08.22 ~ '07.12.20	㈜아워브레인	●천단부 및 측벽부 균열, 콘크리트 박리, 타일 균열 및 파손 등이 조사됨	B
5	상반기 정기점검	'08.03.10 ~ '08.06.30	㈜아워브레인	●양호	
6	하반기 정기점검	'08.09.30 ~ '08.12.31	㈜아워브레인	●국부적인 균열, 콘크리트 박리 및 타일파손 등의 손상이 추가 조사	
7	상반기 정기점검	'09.03.31 ~ '09.06.30	㈜아워브레인	●국부적인 균열, 콘크리트 박리 및 스켈링 등의 손상이 추가 조사	
8	정밀점검	'09.10.01 ~ '09.12.31	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	B
9	상반기 정기점검	'10.03.08 ~ '10.60.30	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	
10	하반기 정기점검	'10.09.06 ~ '10.12.31	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질퇴적, 포장부 손상(균열, 스케링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 암괴, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	

【표 2.3.2】 고정1터널(부산) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
11	상반기 정기점검	'11.02.10 ~ '11.06.30	㈜아워브레인	●미보수된 구간에서 천단부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 표면 망상균열, 균열 및 타일파손, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 배수구 이물질 퇴적, 포장부 손상(균열, 스켈링, 스폴링), 사면부 표층유실 및 표층침식, 암괴, 전석 및 뜬돌, 표지판 볼트탈락 등이 조사됨	
12	정밀점검	'11.07.29 ~ '11.12.31	㈜아워브레인	●갱문 측면 뒷채움부 토사유실, 천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 망상균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면망상균열, 조인트부 들뜸, 박락 및 반원형 균열, 공동구 내부 균열, 누수 및 체수, 실란트파손, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 포장면마모, 파단 비상주차대 표지판 접합부 볼트탈락, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 등이 조사됨	B
13	상반기 정기점검	'12.02.20 ~ '12.06.30	㈜아워브레인	●보수부 재균열이 다수 발생하였으며, 라이닝부에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 균열, 누수, 백태 및 체수, 포장면 파단, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	
14	하반기 정기점검	'12.08.20 ~ '12.12.31	㈜아워브레인	●라이닝에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 누수, 백태 및 결로, 포장면 파단, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	
15	상반기 정기점검	'13.02.25 ~ '13.06.30	㈜아워브레인	●미보수된 라이닝에 균열, 망상균열, 조인트부 콘크리트 들뜸, 측벽부 타일 균열, 탈락 및 파손, 공동구 본체 및 덮개 파손, 공동구 내부 환기구 및 연결홀 누수, 포장면 균열, 파단, 포장면 불량, 불순물 혼입, 스폴링 및 스켈링, 시·종점측 터널부 사면의 세굴, 표층유실, 암괴노출 및 배수로 균열 등이 조사됨	

【표 2.3.2】 고정1터널(부산) 기 점검이력(계속)

번호	구 분	점검기간	점검기관	주요 점검결과	상태 등급
16	정밀점검	'13.09.09 ~ '13.12.31	㈜아워브레인	•천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등이 조사됨	B
17	상반기 정기점검	'14.02.24 ~ '14.06.30	㈜아워브레인	•천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등이 조사됨	
18	하반기 정기점검	'14.08.18 ~ '14.12.31	㈜아워브레인	•천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 등이 조사됨	
19	상반기 정기점검	'15.03.02 ~ '15.06.30	㈜아워브레인	•천정부 종·횡방향 균열, 보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴 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)	10	23.20	m
		균열(cw=0.3이상)	20	73.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	54	448.00	m
		표면 균열	5	25.00	㎡
		재료분리	1	15.00	㎡
		제트팬 녹발생	9	9	개소
		콘크리트 들뜸	15	0.60	㎡
	측벽부	균열(cw=0.3이상)	6	6.60	m
		표면 균열	12	84.70	㎡
		타일 균열	20	20	개소
		타일 파손	5	5	개소
	공동구	덮개 파손	120	120	개소
		콘크리트 파손	5	0.80	㎡
	포장부	스폴링	11	0.32	㎡
		스켈링	7	0.14	㎡
		불순물혼입, 파손	2	0.65	㎡

2) 비파괴시험

구 분	위 치	시험결과	비 고	검 토
콘크리트 강도시험	라이닝	·반발경도법 : 26.6~28.3㎫	·설계강도 : 24.0㎫	양호
탄산화시험	라이닝	·탄산화깊이 : 3~4㎜ ·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 [S2-120]	4.02	0	0	0.12	0	0	0	0	0	4.14	0.153	b
철근 구간 [S1, 121-129]	2.39	0	0	0.06	0	0	0	0	0	2.44	0.07	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	0.00	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	4.02	0	0	0.12	0	0	0	1	0	0.5	0	5.64	0.17	0.15	1.00	**0.15**	B
철근	2.39	0	0	0.06	0	0						3.95	0.09				

4) 종합결론

고정1터널(대구)에 대한 정밀점검 결과, 본 시설물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 주요현황으로는 천정부 종·횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등의 손상이 발생된 상태이다. 기 발생된 손상현황에 대해서는 내구성 및 주행차량의 안전성 확보를 위한 보수가 필요하며, 시점측 사면에 발생한 침식 및 표층유실은 우수 유입에 의한 추가 손상의 우려가 있으므로 보수가 필요하다.

나. 부산방향

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정2터널(대구)	천정부	균열(cw=0.3미만)	2	2.00	m
		균열(cw=0.3이상)	15	41.50	m
		보수부 재균열(cw=0.3미만)	5	25.00	m
		보수부 재균열(cw=0.3이상)	105	916.00	㎡
		표면 불량	1	25.00	㎡
		제트팬 녹발생	10	10	개소
		콘크리트 들뜸, 박락	19	0.60	㎡
	측벽부	타일 균열	20	20	개소
		타일 파손	16	16	개소
	공동구	덮개 파손	120	120	개소
		콘크리트 파손	8	2.53	㎡
	포장부	스폴링	21	1.31	㎡
		스켈링	4	0.15	㎡
		파 단	3	1.60	㎡
		표면불량(마모)	3	47.00	㎡

2) 비파괴시험

구 분	위 치	시험결과	비 고	검 토
콘크리트 강도시험	라이닝	·반발경도법 : 25.0~26.5㎫	·설계강도 : 24.0㎫	양호
탄산화시험	라이닝	·탄산화깊이 : 4~5㎜ ·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 [S2-119]	6.05	0	0	0.11	0.02	0	0	0	0	6.18	0.23	b
철근 구간 [S1, 120-128]	1.39	0	0	0.17	0	0	0	0	0	1.56	0.04	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	0.00	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	공동구 상태	특수 조건						
				박리	박락	백태											
무근	6.05	0	0	0.11	0.02	0	0	1	0	0.5	0	7.68	0.22	0.20	1.00	0.20	B
철근	1.39	0	0	0.17	0	0						3.06	0.07				

4) 종합결론

고정1터널(부산)에 대한 정밀점검 결과, 본 시설물은 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 등급의 양호한 상태로 평가되었다. 주요현황으로는 천정부 종・횡방향 균열, 균열보수부 재균열 및 표면균열, 측벽부 타일균열, 파손 및 라이닝부 균열, 표면균열, 조인트부 들뜸 및 박락, 공동구 내부 누수 및 체수, 공동구 덮개 파손, 포장부 스폴링, 스켈링, 마모, 파단, 사면부 침식, 표층유실 및 암괴, Jet-Fan 녹발생 등의 손상이 발생된 상태이다. 기 발생된 손상현황에 대해서는 내구성 및 주행차량의 안전성 확보를 위한 보수가 필요하며, 시점측 사면에 발생한 침식 및 표층유실은 우수 유입에 의한 추가 손상의 우려가 있으므로 보수가 필요하다.

다. 옥외공동구

1) 외관조사

위 치			손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정1터널 (옥외공동구)	B면	처정부	누 수	2	2	개소
	C면	천정부	누 수	2	2	개소
		바닥부	체 수	1	100.00	㎡
			집수정 배수불량	1	1	개소
	부속시설	관리동 외부	균열 및 파손	1	1	개소

라. 시점측 터널부 사면

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정1터널 (시점측 사면)	표층유실	좌측 STA.38+490m 2~4단 침식 A=2m*15m	1	30.00	㎡
		좌측 STA.38+530m 3~5단 표층유실 A=5m*15m	1	75.00	㎡
		좌측 STA.38+530m 4~6단 침식 A=2m*15m	1	30.00	㎡
		좌측 STA.38+590m 자연사면 표층유실 A=10m*5m	1	50.00	㎡
	낙석위험	좌측 STA.38+600m 8단 암괴분포	1	1	개소
	배수시설	상태양호			
	수 목	상태양호			

마. 종점측 터널부 사면

1) 외관조사

위 치		손 상 내 용	개 소	수 량	비 고
고정1터널 (종점측 사면)	표층유실	상태양호			
	낙석위험	상태양호			
	배수시설	상태양호			
	수 목	상태양호			

2.4 보수 · 보강 이력

【표 2.4.1】 고정1터널(대구) 보수·보강 이력

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	비고
보수	'08.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수	-
보수	'10.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'11.03	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'12.05	-	현대산업개발(주)	옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수	-
보수	'13.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열, 들뜸보수	-
보수	'14.06	-	현대산업개발(주)	부대시설 제트팬 정비	-

【표 2.4.2】 고정1터널(부산) 보수·보강 이력

구분	공사기간	설계자	시공자	보수·보강공법/내용	비고
보수	'08.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수	-
보수	'10.11	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'11.03	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 단면보수	-
보수	'12.05	-	현대산업개발(주)	옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱	-
보수	'12.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열보수, 측벽부 타일보수, 공동구 덮개보수	-
보수	'13.06	-	현대산업개발(주)	천정부 균열, 들뜸보수	-
보수	'14.06	-	현대산업개발(주)	부대시설 제트팬 정비	-

2.5 내진설계 여부

준공도서 검토 결과 내진설계가 반영되지 않은 것으로 조사되었다.

2.6 자료분석 결과요약

본 과업의 효과적인 용역 수행을 위하여 건설관련 자료『부산～대구간 고속도로(고정~가곡간)건설공사』자료 와 유지관리 자료(기 정밀점검 자료, 보수,보강자료 등) 등을 입수하였으며, 수집 자료를 검토한 결과 및 진단과업 진행방향은 다음 【표 2.6.1】과 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)	◇천장부 균열보수부 재균열 ◇라이닝 신축이음부 콘크리트 들뜸, 박락 ◇콘크리트 포장부 스폴링, 스켈링, 마모 ◇제트팬 녹발생 ◇시,종점측 사면 세굴 및 낙석, 갱문 배면 공동 ◇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	◇균열보수, 단면보수, 타일보수, 덮개보수 ◇옥외공동구 바닥슬러지 제거, 방수 및 균열보수, 배수 트렌치 설치 ◇터널부 사면 48.6K 몰탈격자블럭, 49.8K 소단월류방지턱 ◇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

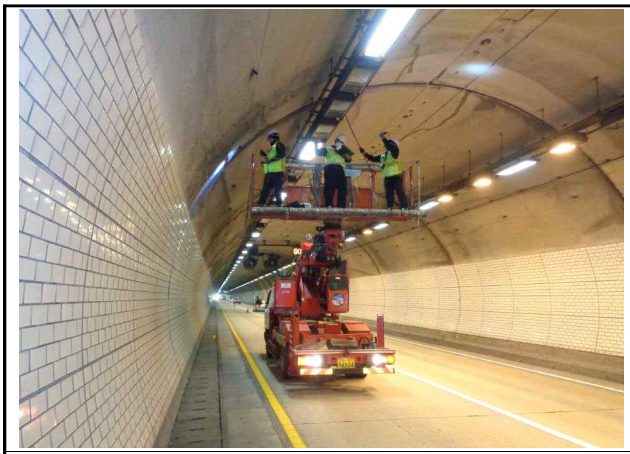
본 시설물에 대한 외관조사는 대상터널의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 구조적 손상유무를 판단하기 위해 부재 전체에 대하여 가능한 근접 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침_터널편(2010.12, 국토해양부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나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

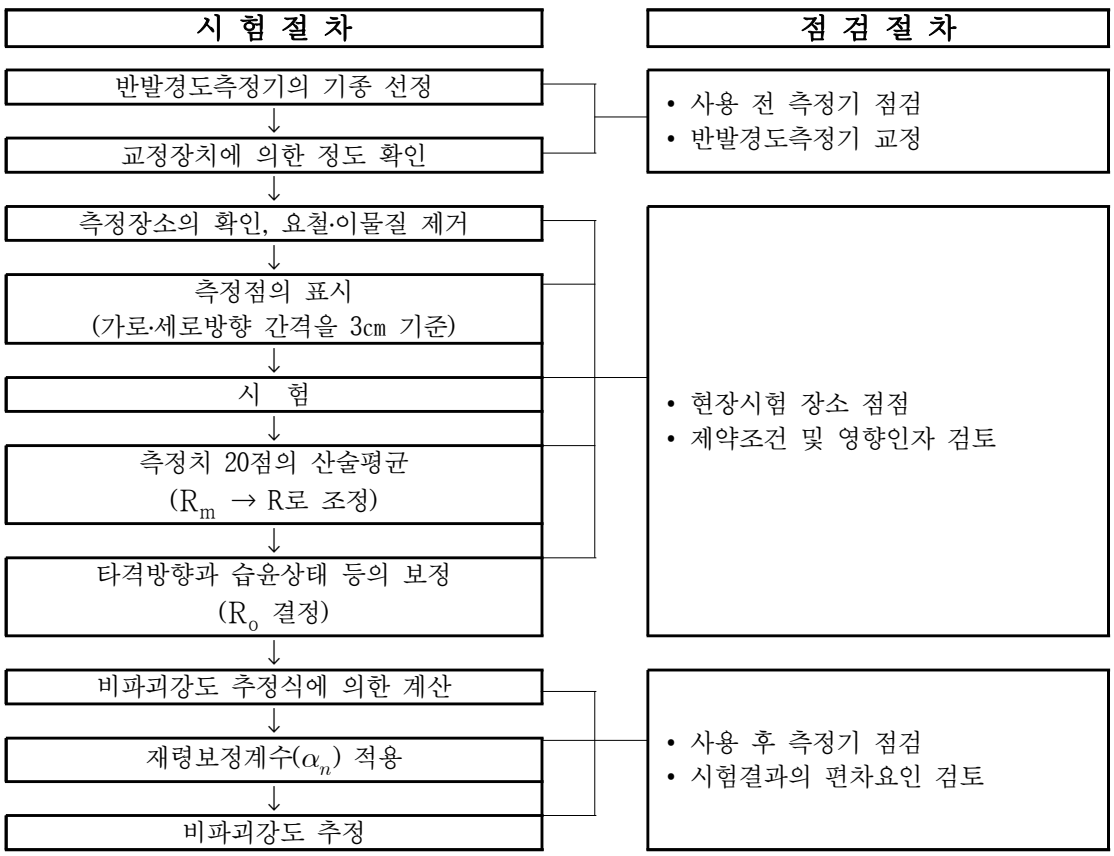
3.2.2 시험내용 및 평가기준

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

시 험 절 차	점 검 절 차
시험장소의 선정 (사전 철근탐사 실시)	• 사용 전 점검 • 측정기 교정
시험부위 탐촉자 배치방법 결정	
시험장소의 그라인딩, 요철 제거	• 현장 점검 • 제약조건 및 영향인자 검토
Marker 등에 의한 측정점의 표시 (표면법 : 10~15㎝ 간격)	
측정기 영점 조정	
탐촉자와 시험면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스 등으로 밀착	
탐촉자 배치방법에 따른 시험	
초음파전달속도 산출	• 사용 후 점검 • 시험결과의 편차요인 검토
추정식에 의한 비파괴강도 산출	
비파괴강도의 추정	

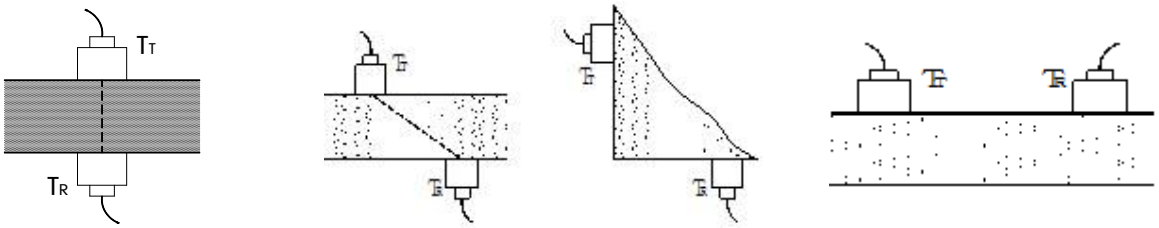
【그림 3.2.2】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

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.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

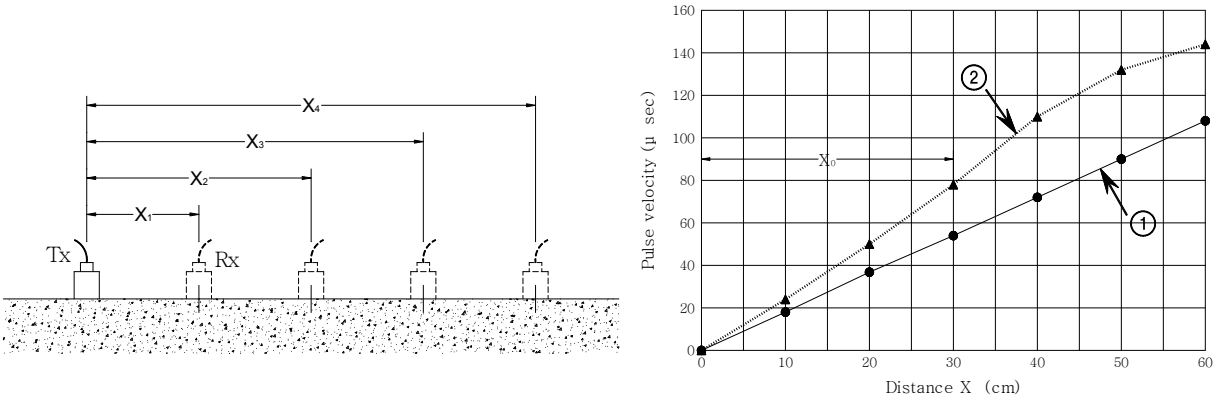
여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

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.

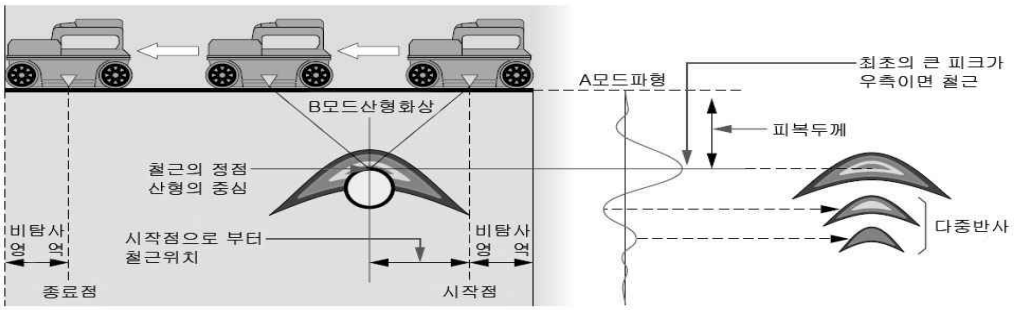
$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

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.

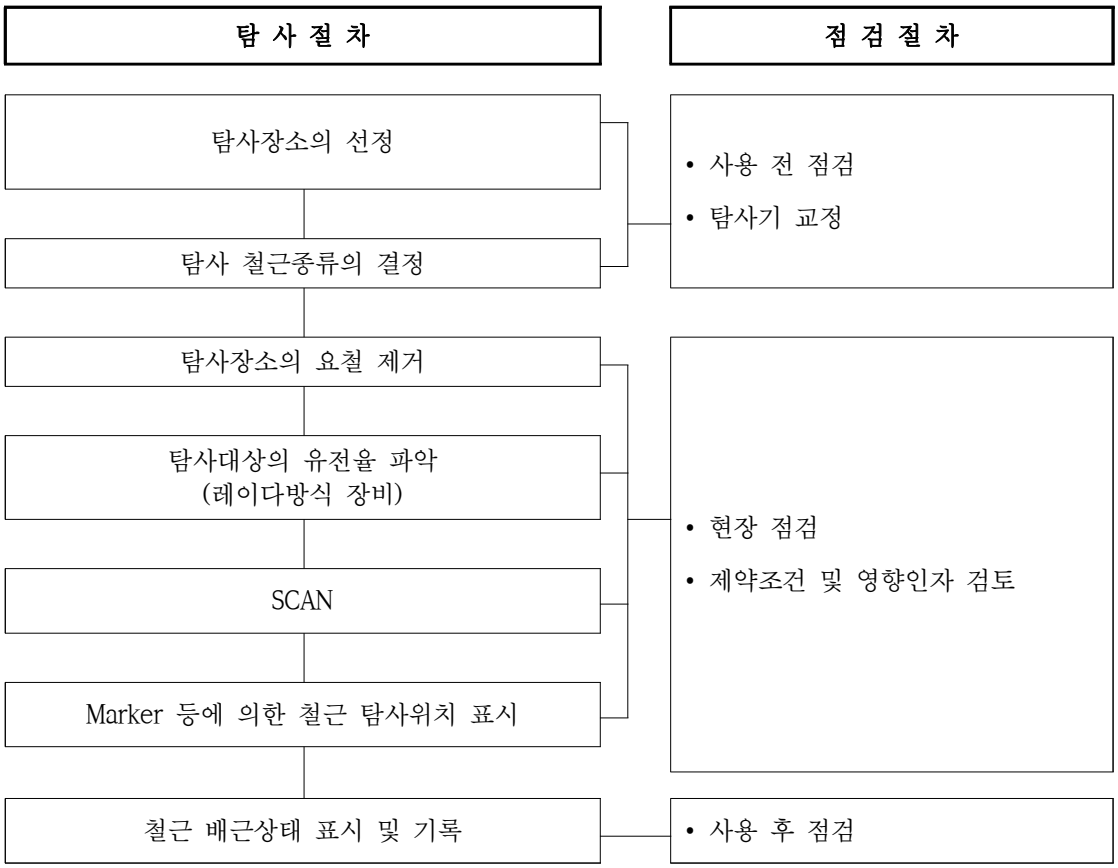
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【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

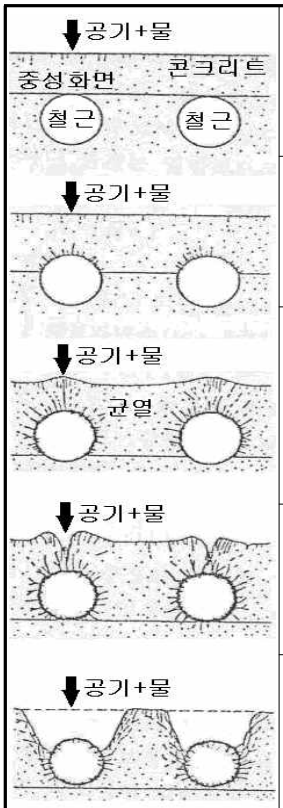
탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

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

(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	-	-

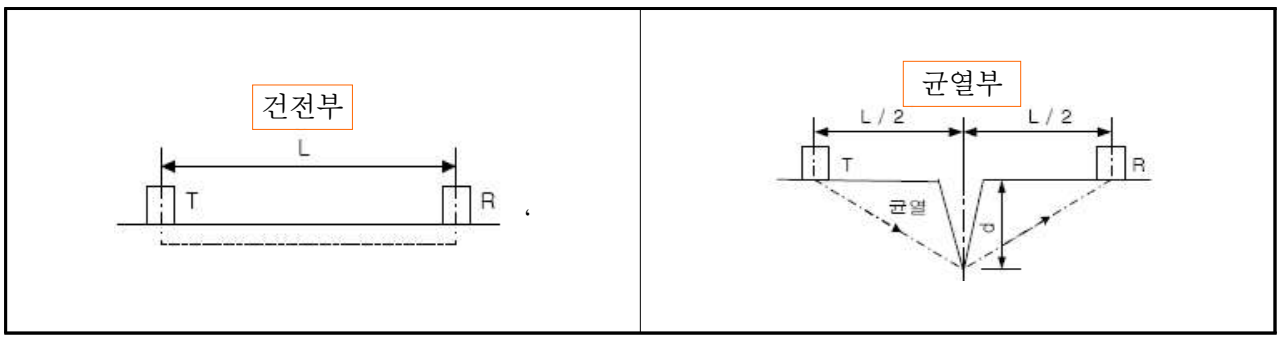
마. 균열깊이 조사

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

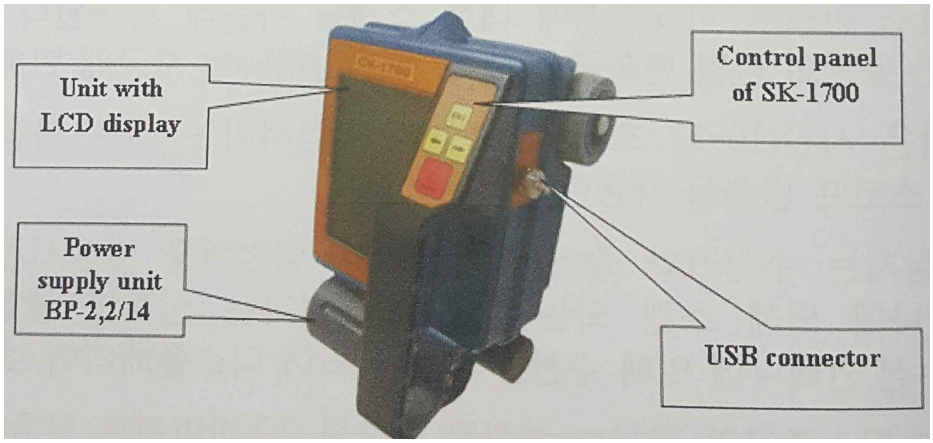
3.3.1 개요

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

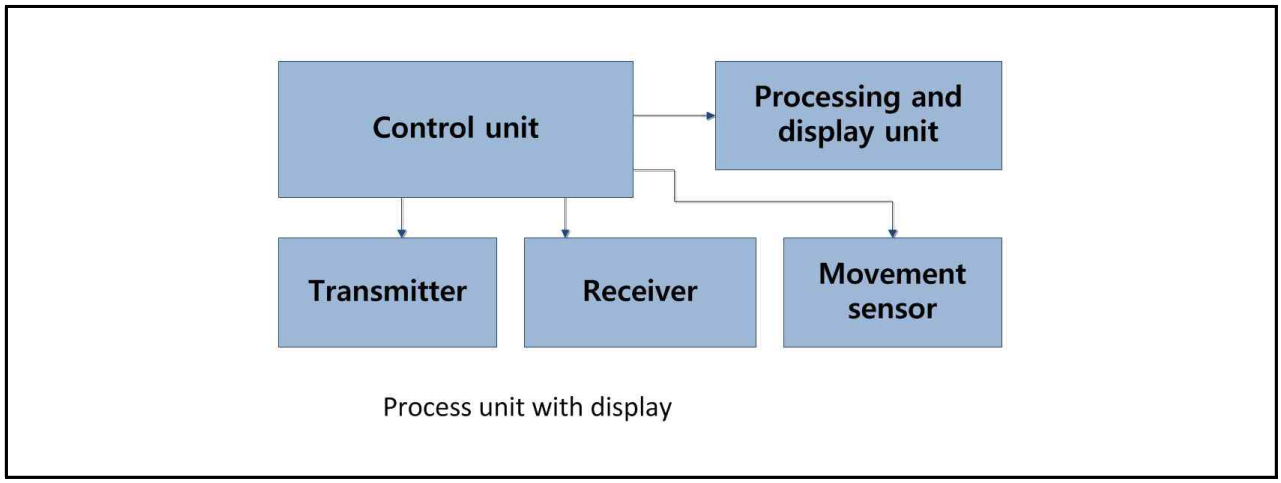


구 분	특 성	비 고
탐사깊이	1.0m 이상	
해상도	0.3cm	
스캐닝 속도	1.0m/sec 이상	
중심주파수	1,700 MHz	
작동시 무게	1.5kg	
작동 온도범위	-20° C ~ 50° C	
연속 작업시간	4시간/전원공급장치	

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

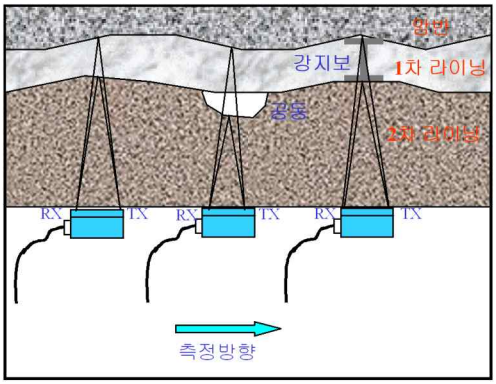
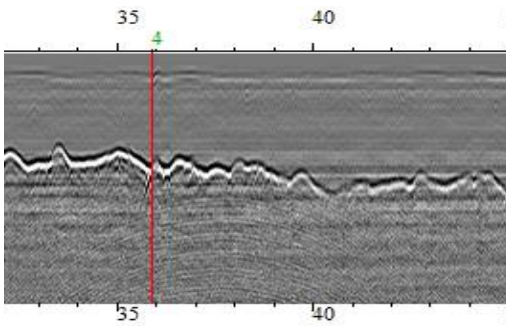
가. G.P.R 탐사 기본원리

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.

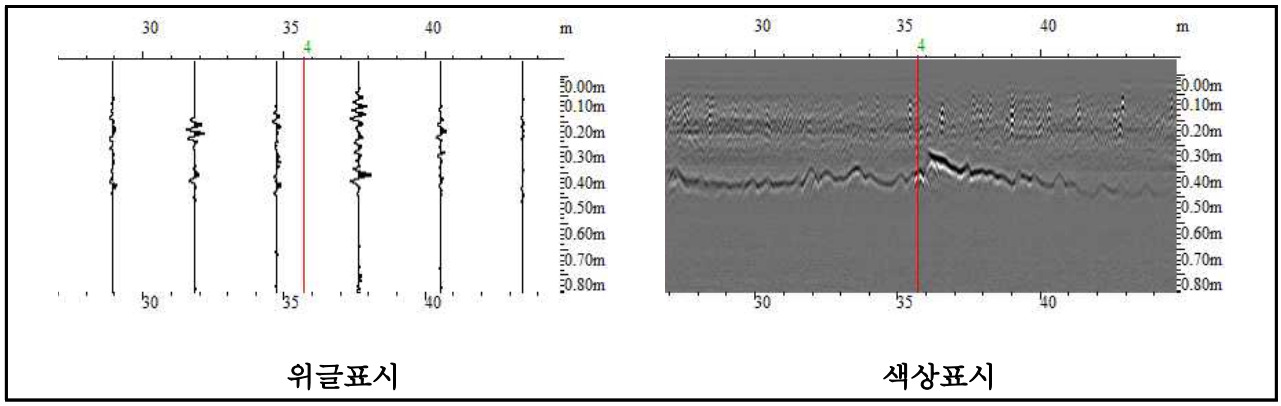
지반을 구성하는 대표적인 물질의 전자기적 특성을 보여준다. 점토는 모래보다 유전상수와 감쇠율이 커서 전자파의 투과 깊이가 짧고, 따라서 탐사가능심도가 훨씬 낮을 것임을 예측할 수 있다. 철근은 일반물질 중 유전상수와 감쇠율이 가장 높다.

【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.

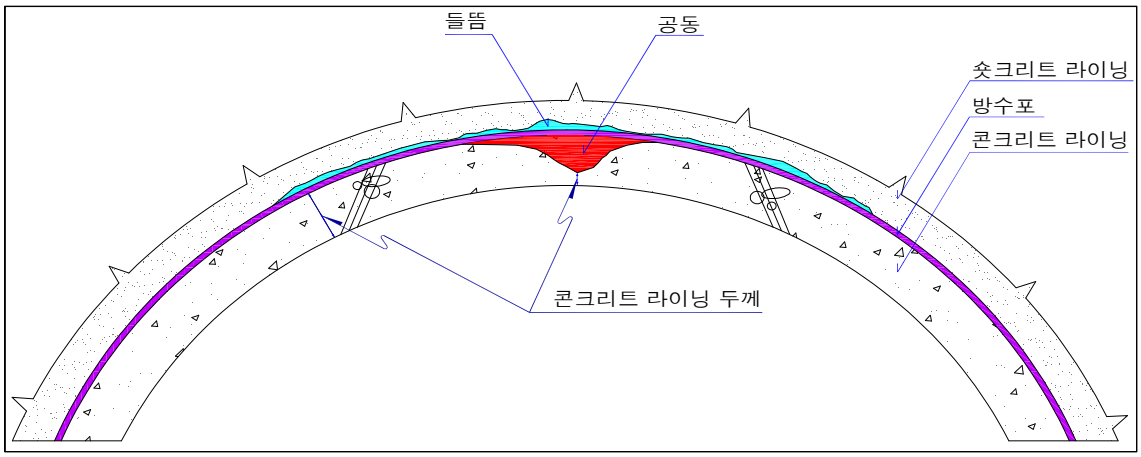
3.3.4 자료분석

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.

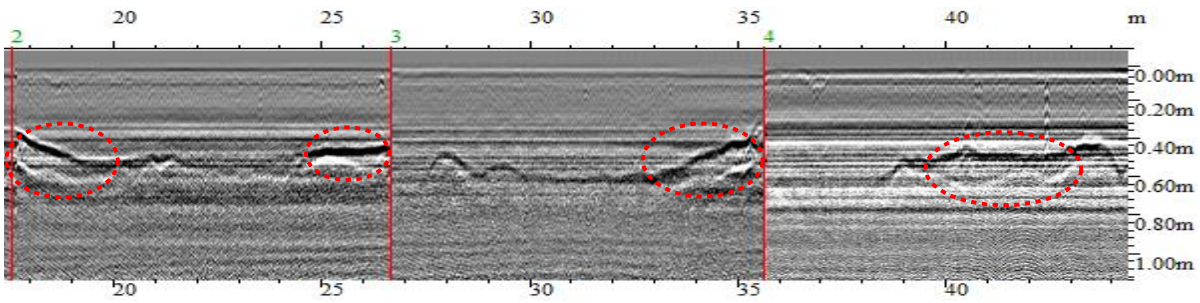
① 공동의 상부 경계면에서 강한 반사 신호가 발생한다.

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.

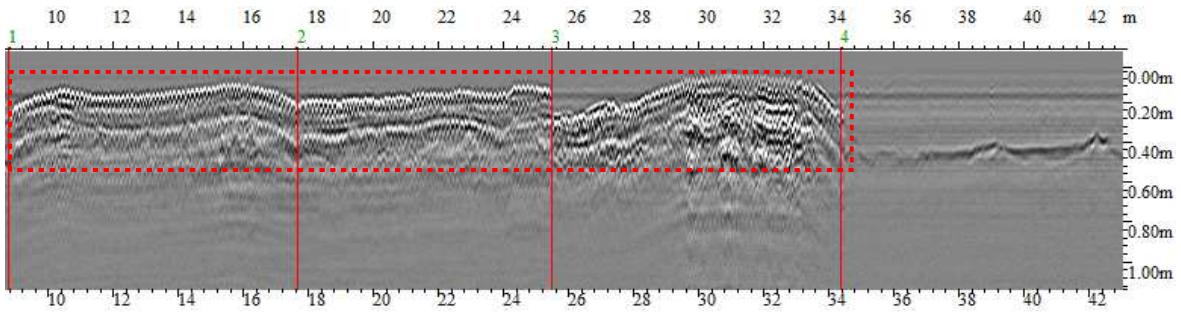


공동, 경계부들뜸 존재시의 G.P.R 탐사 DATA 예

【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.

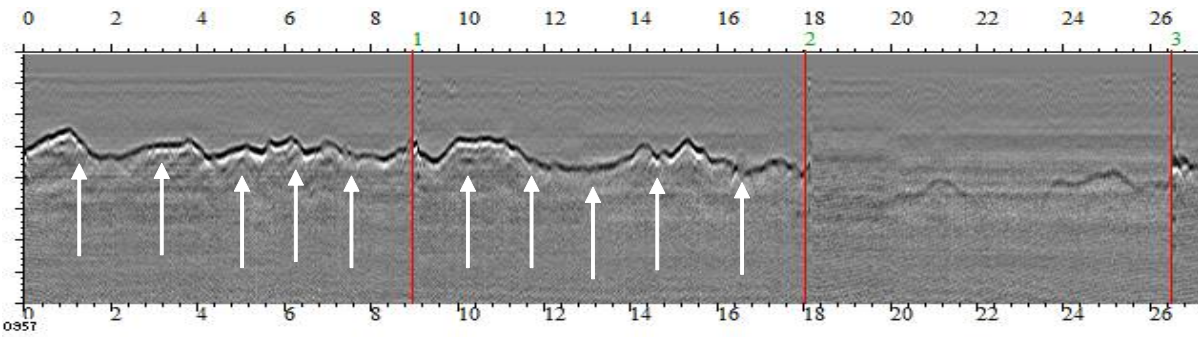


철근이 배근된 구간의 G.P.R 탐사 DATA 예

【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

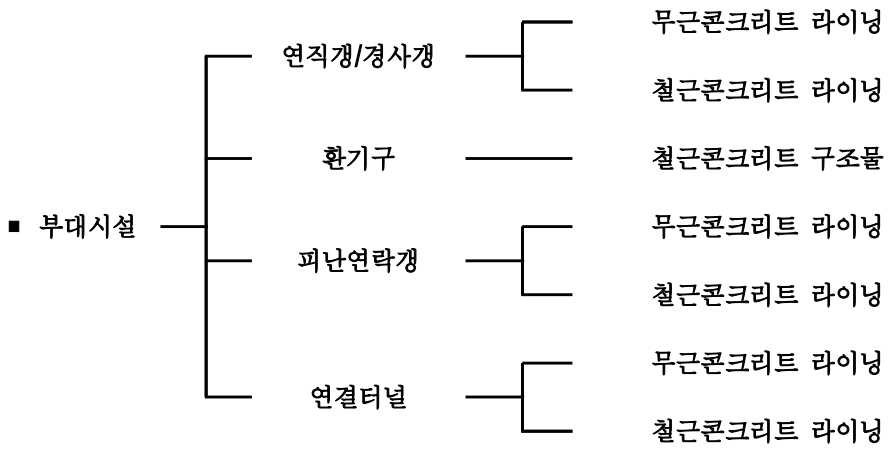
【표 4.2.5】개착식터널 결함지수 산정기준

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)

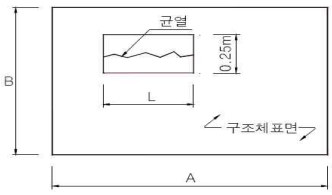
3) 균열이 다음 스판에 연속적으로 이어져 있는 경우 평가는 하향조정할 수 있다.

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.

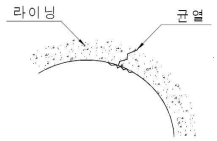
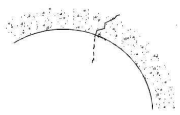
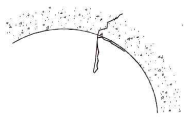
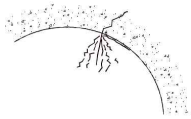
- 균열의 발생면적은 균열길이당 0.25m의 폭을 차지하는 것으로 한다.



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

2) 누수

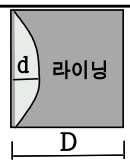
【표 4.2.11】 누수 상태평가 기준

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

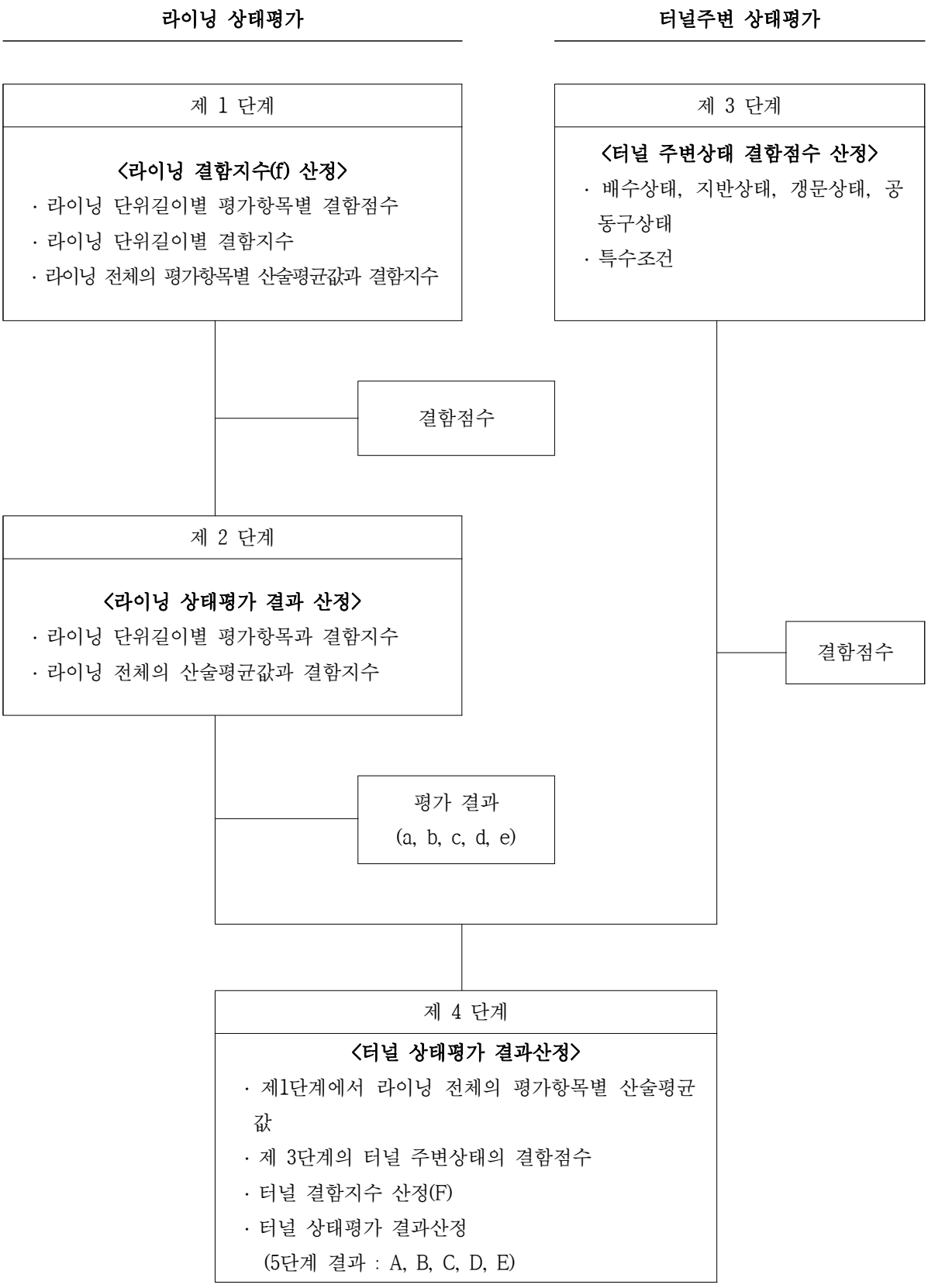
① 제1단계의 라이닝 결함지수(f) 산정시 사용한 평가항목별 결함점수 산술평균값과, 제3단계의 터널 주변상태 평가 결함점수를 합한다.

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 주는 상태	· 기본시설의 기능 수행에 문제를 일으켜 즉각적인 조치가 필요한 상태

제 5장 종합평가 및 안전등급 지정 개요

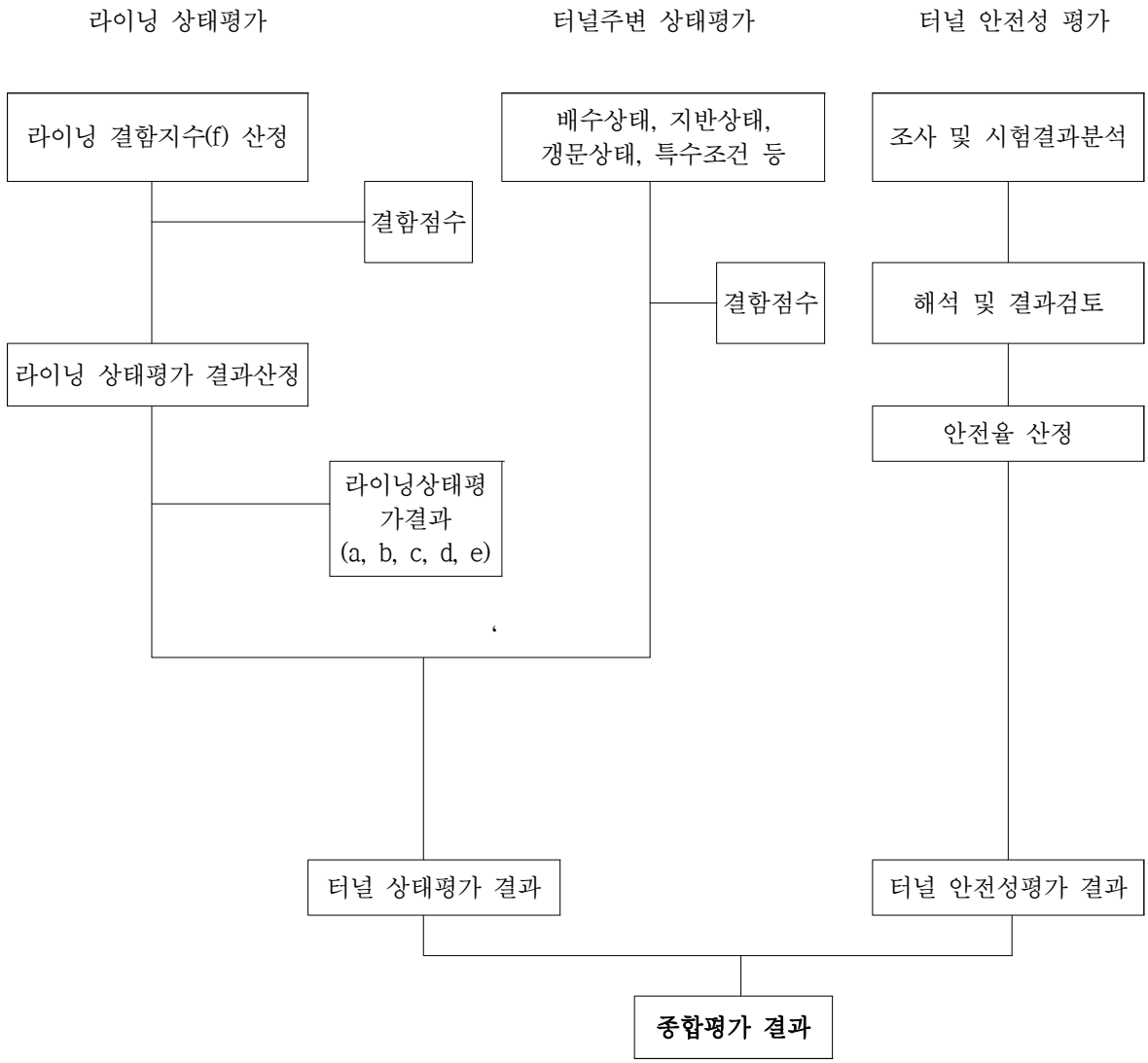
5.1 종합평가 기준

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 【표 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 고정1터널(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

고정1터널(대구방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리~산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,142m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span, 종점 8Span)+굴착(NATM, 118Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시·종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

1.1 외관조사 결과

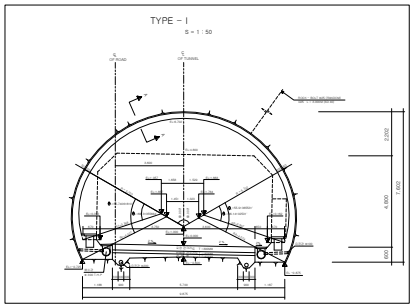
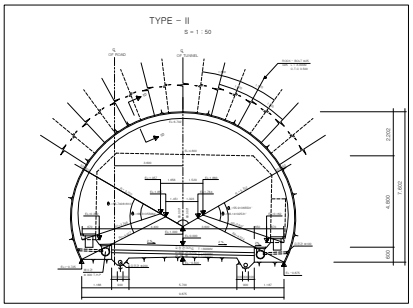
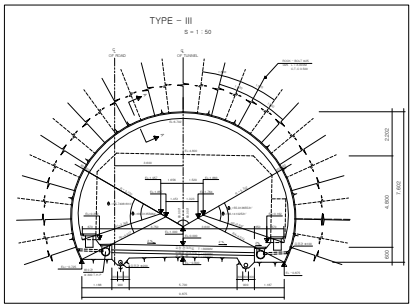
1.1.1 시공현황

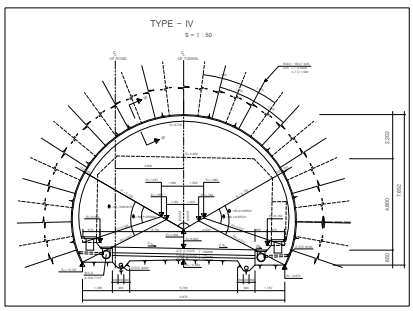
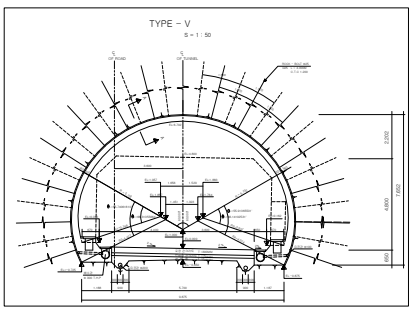
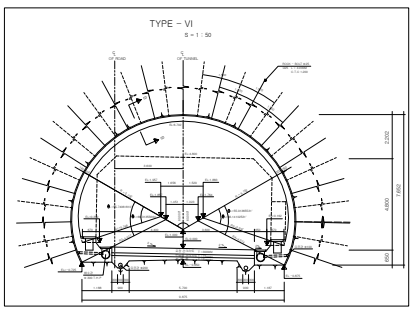
본 고정1터널(대구방향)은 '고속국도 제55호선 대구~부산간 건설공사 제7공구'에 해당하며, 시공현황은 다음과 같다.

【표 1.1.1】 고정1터널(대구방향) 시공현황

노 선	고속국도55호선(대구방향)	Sta.	부산기점 48.743km
위 치	경상남도 밀양시 상동면 가곡리 ~산외면 엄광리	시공사	현대산업개발(주)
설계사	선진엔지니어링(주)	준 공	2006. 02.

지보패턴 시공현황									
Start. Sta.	End. Sta.	굴착방법	지보 형태	형식	Start. Sta.	End. Sta.	굴착방법	지보 형태	형식
48k743	48k768	개착공법	-	개착터널	49k285	49k690	전단면 굴착	2	NATM
48k768	48k776	반단면 굴착	6	NATM	49k690	49k735	전단면 굴착	3	NATM
48k776	49k151	전단면 굴착	3	NATM	49k735	49k789	반단면 굴착	4	NATM
49k151	49k196	반단면 굴착	4	NATM	49k789	49k816	반단면 굴착	5	NATM
49k196	49k258	반단면 굴착	5	NATM	49k816	49k825	반단면 굴착	6	NATM
49k258	49k267	반단면 굴착	4	NATM	49k825	49k885	개착공법	-	개착터널
49k267	49k285	전단면 굴착	3	NATM	-	-	-	-	-

					
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)		지보패턴 (TYPE-Ⅱ)		지보패턴 (TYPE-Ⅲ)	
경암	숏크리트 : 5cm	보통암	숏크리트 : 5cm	연암	숏크리트 : 8cm

					
지보패턴 (TYPE-Ⅳ)		지보패턴 (TYPE-Ⅴ)		지보패턴 (TYPE-Ⅵ)	
풍화암	숏크리트 : 12cm	풍화암(토)	숏크리트 : 16cm	갱구부	숏크리트 : 16cm

1.1.2 지형 및 지질조건

가. 지형

본 지역의 지형은 전반적으로 동부가 높고 서부가 비교적 낮은 지세로 산계의 발달을 보면 중산(△648m) 부근에서는 보두산, 낙화산, 용암산 등이 불규칙하게 연결되어 있으며, 남쪽으로 향하여 고도가 낮아지는 산계를 이루고 있다. 산성산 일대에서는 산성산까지 이어진 북서방향의 뚜렷한 능선의 발달이 확인된다. 수계의 발달을 보면 노선 좌측으로 노선과 거의 평행하게 밀양강이 흐르고 있으며, 노선 종점부근을 가로지르는 동천이 밀양강으로 유입되면서 넓은 충적평야를 형성하고 있다.

나. 지층

본 조사지역을 구성하고 있는 지층으로는 부지조성을 위하여 인위적으로 매립한 매립층(Fill), 유수의 작용에 의해 퇴적물이 운반, 퇴적되어 형성된 충적층(Alluvium), 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집적되어 저지대를 불규칙하게 덮은 지층인 붕적층(Colluvium)과 기반암인 풍화대(Weathered Zone : 풍화토(Weathered Soil), 풍화암(Weathered Rock)), 연암(Soft Rock), 경암(Hard Rock)으로 구성되어있다.

이들 각 지층에 대한 구분은 시추조사 결과에 의하여 구분하였으며, 계획노선의 각 구간별 지층 상태를 상술하면 다음과 같다.

1) 붕적층

본 지층은 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집적되어 저지대에 불규칙하게 퇴적된 지층으로 TB~4,5번공을 제외하고 확인된 지층으로 황갈색을 띠는 세립~조립질의 자갈과 소량의 호박돌 섞인 점토질모래로 구성되어 있으며, 지표면(GL ±0 기준)으로부터 1.5~4.5m의 심도에 분포한다. 표준관입시험 결과 N값은 6/30~50/11로 나타났으나 자갈 및 호박돌에 의한 영향으로 그 값이 커진 것으로 사료되어 분석에서 제외한다.

2) 풍화토층

본 지층은 기반암의 최상부 풍화대로 전 시추공에서만 확인되었으며, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 0.0~5.3m에 이하에 분포하여 7.0~8.0m 심도에 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며, 풍화정도는 완전히 풍화된(Completely Weathered)상태이다.

표준관입시험 결과 N값은 19/30~50/17로 보통조밀내지 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 2.5~8.0m로 확인되었고, 풍화암층과는 편의상 표준관입시험값 50/15를 기준으로 분류하였다.

3) 풍화암층

본 지층은 TB-6번 조사공을 제외하고 전 시추공에서 확인되었으며, 암갈색, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 7.0~8.0m의 심도에 분포하여 9.5m~16.8m까지 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며, 풍화정도는 상당히 풍화된(Highly Weathered)상태이고 일반적으로 심도가 증가함에 따라 풍화정도가 적어지면서 기반암으로 전이된다.

표준관입시험 결과 N값은 50/9~50/2으로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 2.2~8.8m로 확인되었다.

4) 연암층

본 지층은 전시추공에서 확인된 지층으로 황갈색, 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 9.5~16.8m 이하에 분포하여 13.0~28.8m의 심도에 분포한다.

본 지층의 풍화정도는 약간풍화(Slightly Weathered)~심한풍화(Highly Weathered) 상태로 조사지역에 따라 풍화정도를 달리하고 있다. 풍화가 심한 지역의 경우 절리 및 균열 등 기계적, 화학적 풍화가 동시에 이루어져 상부 연암은 비교적 파쇄구간이 폭 넓게 분포하여 대부분의 입자들이 변색되어 절리면으로부터 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있으며, 일부 지역의 경우 Open Joint 내에 점토성분이 협재하기도 한다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 22%~66%로 나타났고 암질계수(RQD : Rock Quality Designation)의 경우 0%~7%로 나타났으며 층후는 1.5~11.2m 이상으로 확인되었다.

5) 경암층

본 지층은 TB-5번 조사공을 제외하고 전 시추공에서 확인된 지층으로 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 13.0~19.5이하에 분포하여 17.0~41.0m의 심도에 분포한다.

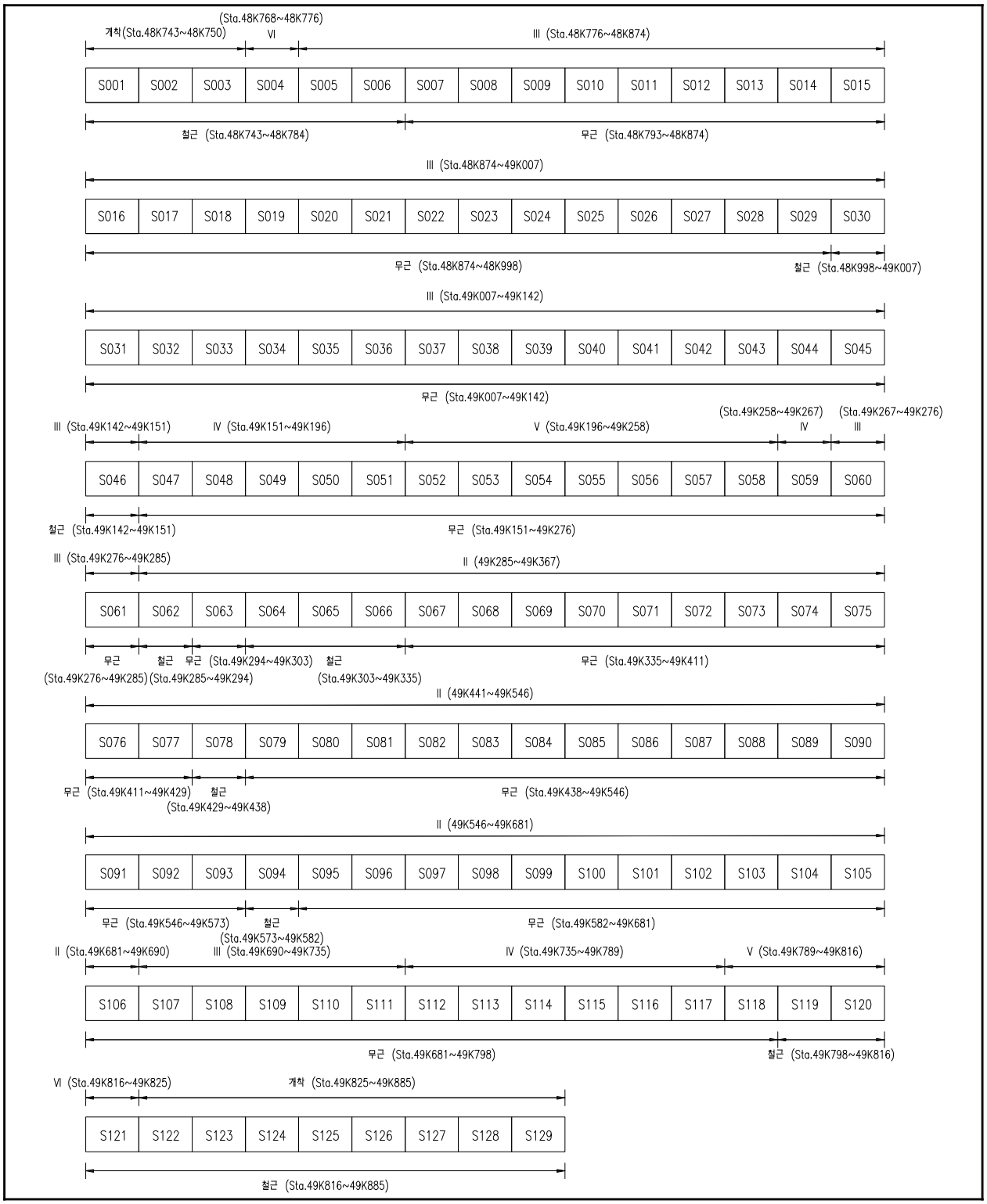
본 지층의 풍화정도는 신선(Fresh)~약간풍화(Slightly Weathered) 상태로 비교적 신선한 상태의 암반이다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 100%로 나타났고 암질계수(RQD : Rock Quality Designation)의 경우 62%~35%로 나타났으며, 층후는 1.3~21.5m 이상으로 확인되었다.

【표 1.1.2】고정1터널 시추공별 지층분포

지 층	공 번	층 후 (m)	N치 (회수/cm)	비 고
붕적층	TB-17~TB-19	0.3 ~ 8.8	50/2 ~ 50/1	자갈 및 전석
풍화토	TB-18	6.8	50/25 ~ 50/11	실트질 모래
풍화암	TB-18	5.3	50/7	실트질 모래
연 암	TB-18 ~ TB-19	2.0 ~ 4.1	-	밀양안산암 화강성록암
경 암	TB-17 ~ TB-19	5.0 ~ 31.7	-	밀양안산암 화강성록암

1.1.3 현장조사 결과

고정1터널(대구방향)의 외관조사는 아래와 같이 구분하여 수행하였다.



【그림 1.1.1】Span별 시공현황

【표 1.1.3】 Span별 시공현황

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보패턴	철근
S1	48K743	48K750	7m	개착	-	철근	S34	49K034	49K043	9m	NATM	T-3	무근
S2	48K750	48K759	9m	개착	-	철근	S35	49K043	49K052	9m	NATM	T-3	무근
S3	48K759	48K768	9m	개착	-	철근	S36	49K052	49K061	9m	NATM	T-3	무근
S4	48K768	48K776	8m	NATM	T-6	철근	S37	49K061	49K070	9m	NATM	T-3	무근
S5	48K776	48K784	8m	NATM	T-3	철근	S38	49K070	49K079	9m	NATM	T-3	무근
S6	48K784	48K793	9m	NATM	T-3	철근	S39	49K079	49K088	9m	NATM	T-3	무근
S7	48K793	48K802	9m	NATM	T-3	무근	S40	49K088	49K097	9m	NATM	T-3	무근
S8	48K802	48K811	9m	NATM	T-3	무근	S41	49K097	49K106	9m	NATM	T-3	무근
S9	48K811	48K820	9m	NATM	T-3	무근	S42	49K106	49K115	9m	NATM	T-3	무근
S10	48K820	48K829	9m	NATM	T-3	무근	S43	49K115	49K124	9m	NATM	T-3	무근
S11	48K829	48K838	9m	NATM	T-3	무근	S44	49K124	49K133	9m	NATM	T-3	무근
S12	48K838	48K847	9m	NATM	T-3	무근	S45	49K133	49K142	9m	NATM	T-3	무근
S13	48K847	48K856	9m	NATM	T-3	무근	S46	49K142	49K151	9m	NATM	T-3	철근
S14	48K856	48K865	9m	NATM	T-3	무근	S47	49K151	49K160	9m	NATM	T-4	무근
S15	48K865	48K874	9m	NATM	T-3	무근	S48	49K160	49K169	9m	NATM	T-4	무근
S16	48K874	48K883	9m	NATM	T-3	무근	S49	49K169	49K178	9m	NATM	T-4	무근
S17	48K883	48K892	9m	NATM	T-3	무근	S50	49K178	49K187	9m	NATM	T-4	무근
S18	48K892	48K901	9m	NATM	T-3	무근	S51	49K187	49K196	9m	NATM	T-4	무근
S19	48K901	48K909	8m	NATM	T-3	무근	S52	49K196	49K205	9m	NATM	T-5	무근
S20	48K909	48K917	8m	NATM	T-3	무근	S53	49K205	49K214	9m	NATM	T-5	무근
S21	48K917	48K926	9m	NATM	T-3	무근	S54	49K214	49K222	8m	NATM	T-5	무근
S22	48K926	48K935	9m	NATM	T-3	무근	S55	49K222	49K231	9m	NATM	T-5	무근
S23	48K935	48K944	9m	NATM	T-3	무근	S56	49K231	49K240	9m	NATM	T-5	무근
S24	48K944	48K953	9m	NATM	T-3	무근	S57	49K240	49K249	9m	NATM	T-5	무근
S25	48K953	48K962	9m	NATM	T-3	무근	S58	49K249	49K258	9m	NATM	T-5	무근
S26	48K962	48K971	9m	NATM	T-3	무근	S59	49K258	49K267	9m	NATM	T-4	무근
S27	48K971	48K980	9m	NATM	T-3	무근	S60	49K267	49K276	9m	NATM	T-3	무근
S28	48K980	48K989	9m	NATM	T-3	무근	S61	49K276	49K285	9m	NATM	T-3	무근
S29	48K989	48K998	9m	NATM	T-3	무근	S62	49K285	49K294	9m	NATM	T-2	철근
S30	48K998	49K007	9m	NATM	T-3	철근	S63	49K294	49K303	9m	NATM	T-2	무근
S31	49K007	49K016	9m	NATM	T-3	무근	S64	49K303	49K313	10m	NATM	T-2	철근
S32	49K016	49K025	9m	NATM	T-3	무근	S65	49K313	49K325	12m	NATM	T-2	철근
S33	49K025	49K034	9m	NATM	T-3	무근	S66	49K325	49K335	10m	NATM	T-2	철근

【표 1.1.3】 Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환)		연장	구분	지보 패턴	철근	Span No.	이정(환)		연장	구분	지보 패턴	철근
	시점	종점						시점	종점				
S67	49K335	49K343	8m	NATM	T-2	무근	S99	49K618	49K627	9m	NATM	T-2	무근
S68	49K343	49K351	8m	NATM	T-2	무근	S100	49K627	49K636	9m	NATM	T-2	무근
S69	49K351	49K359	8m	NATM	T-2	무근	S101	49K636	49K645	9m	NATM	T-2	무근
S70	49K359	49K367	8m	NATM	T-2	무근	S102	49K645	49K654	9m	NATM	T-2	무근
S71	49K367	49K375	8m	NATM	T-2	무근	S103	49K654	49K663	9m	NATM	T-2	무근
S72	49K375	49K384	9m	NATM	T-2	무근	S104	49K663	49K672	9m	NATM	T-2	무근
S73	49K384	49K393	9m	NATM	T-2	무근	S105	49K672	49K681	9m	NATM	T-2	무근
S74	49K393	49K402	9m	NATM	T-2	무근	S106	49K681	49K690	9m	NATM	T-2	무근
S75	49K402	49K411	9m	NATM	T-2	무근	S107	49K690	49K699	9m	NATM	T-3	무근
S76	49K411	49K420	9m	NATM	T-2	무근	S108	49K699	49K708	9m	NATM	T-3	무근
S77	49K420	49K429	9m	NATM	T-2	무근	S109	49K708	49K717	9m	NATM	T-3	무근
S78	49K429	49K438	9m	NATM	T-2	철근	S110	49K717	49K726	9m	NATM	T-3	무근
S79	49K438	49K447	9m	NATM	T-2	무근	S111	49K726	49K735	9m	NATM	T-3	무근
S80	49K447	49K456	9m	NATM	T-2	무근	S112	49K735	49K744	9m	NATM	T-4	무근
S81	49K456	49K465	9m	NATM	T-2	무근	S113	49K744	49K753	9m	NATM	T-4	무근
S82	49K465	49K474	9m	NATM	T-2	무근	S114	49K753	49K762	9m	NATM	T-4	무근
S83	49K474	49K483	9m	NATM	T-2	무근	S115	49K762	49K771	9m	NATM	T-4	무근
S84	49K483	49K492	9m	NATM	T-2	무근	S116	49K771	49K780	9m	NATM	T-4	무근
S85	49K492	49K501	9m	NATM	T-2	무근	S117	49K780	49K789	9m	NATM	T-4	무근
S86	49K501	49K510	9m	NATM	T-2	무근	S118	49K789	49K798	9m	NATM	T-5	무근
S87	49K510	49K519	9m	NATM	T-2	무근	S119	49K798	49K807	9m	NATM	T-5	철근
S88	49K519	49K528	9m	NATM	T-2	무근	S120	49K807	49K816	9m	NATM	T-5	철근
S89	49K528	49K537	9m	NATM	T-2	무근	S121	49K816	49K825	9m	NATM	T-6	철근
S90	49K537	49K546	9m	NATM	T-2	무근	S122	49K825	49K833	8m	개착	-	철근
S91	49K546	49K555	9m	NATM	T-2	무근	S123	49K833	49K841	8m	개착	-	철근
S92	49K555	49K564	9m	NATM	T-2	무근	S124	49K841	49K848	7m	개착	-	철근
S93	49K564	49K573	9m	NATM	T-2	무근	S125	49K848	49K855	7m	개착	-	철근
S94	49K573	49K582	9m	NATM	T-2	철근	S126	49K855	49K862	7m	개착	-	철근
S95	49K582	49K591	9m	NATM	T-2	무근	S127	49K862	49K869	7m	개착	-	철근
S96	49K591	49K600	9m	NATM	T-2	무근	S128	49K869	49K877	8m	개착	-	철근
S97	49K600	49K609	9m	NATM	T-2	무근	S129	49K877	49K885	8m	개착	-	철근
S98	49K609	49K618	9m	NATM	T-2	무근							

가. 터널 주변 조사

1) 터널 시점부

터널은 상·하행선 분리터널이며 Bell Mouh 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

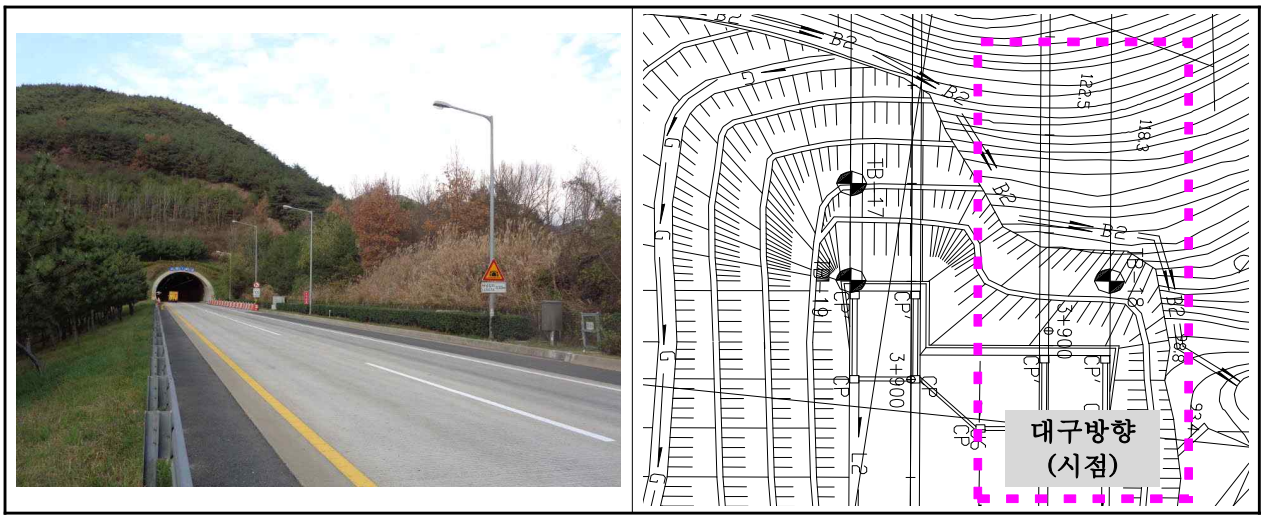
- 우측면 터널 전면부 사면은 사면 높이가 낮고 식생이 양호한 상태이며, 배면부 사면은 터널 시공을 위해 깎기 후 식생이 이루어진 상태로 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열, 집수지형 형성 등에 대해 주의 점검을 실시하였으며 점검결과, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.

② 갱문 주변부 점검 결과

- 갱문 출입구 및 주변부에 대한 조사결과, 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

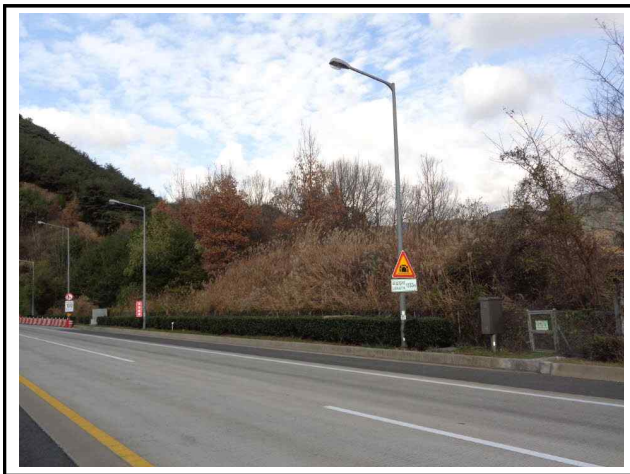
③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 25.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 원활한 배수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.4】터널 시점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	-		
낙석위험	-		
배수시설	배수로 초기 이물질 퇴적	주기적 청소	
수 목	-		
기 타	-		



우측 사면 식생 상태 양호

배면부 사면 식생상태 양호

갱문상태 양호

배수로내 이물질 초기퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 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.

2) 터널 종점부

① 사면 상태 점검 결과

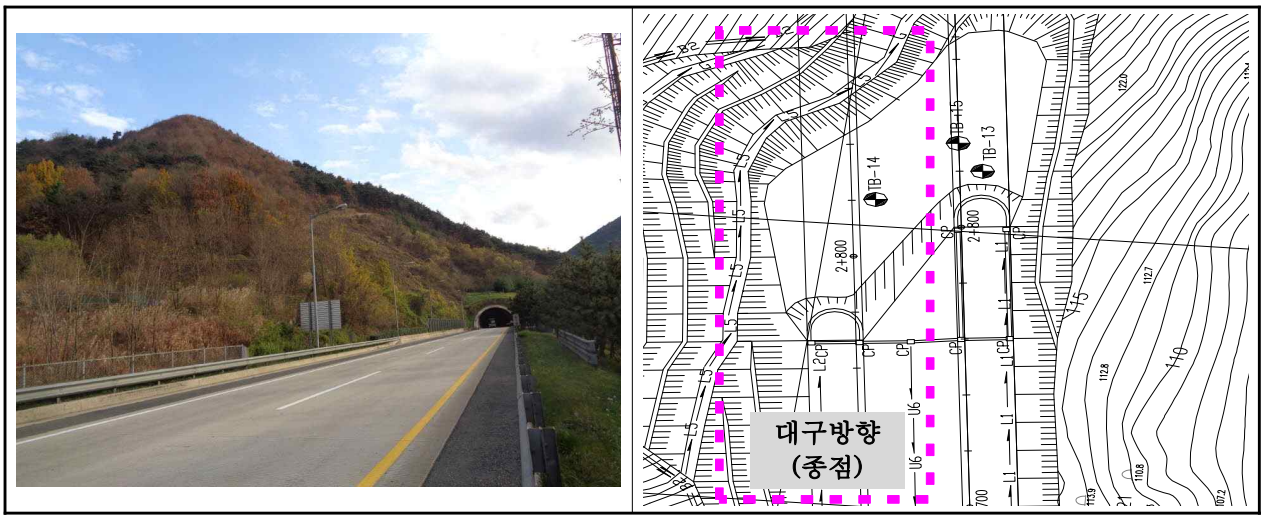
- 좌측 및 배면부 사면은 터널 시공을 위해 깎기 후 식생이 이루어진 상태로 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열. 집수지형 형성 등에 대해 주의 점검을 실시하였으며 점검결과, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 사면부의 원활한 유지관리를 위해 점검사다리를 설치하였으며, 점검사다리 설치 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

② 갱문 주변부 점검 결과

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

③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 60.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 원활한 배수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로 및 사면소단 측구에 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.5】터널 종점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	-		
낙석위험	-		
배수시설	배수로 및 측구 초기 이물질 퇴적	주기적 청소	
수 목	-		
기 타	-		

사면 내 식생상태 양호	사면내 측구 이물질(낙엽) 퇴적
갱문상태 양호	배수로내 이물질 초기퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 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.

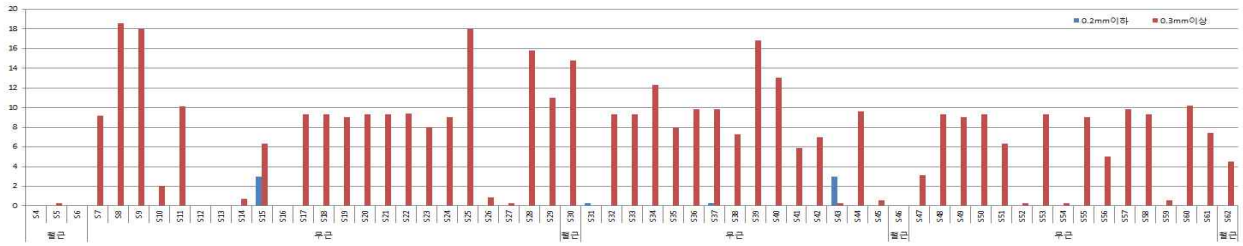
나. 콘크리트 라이닝

1) 균열

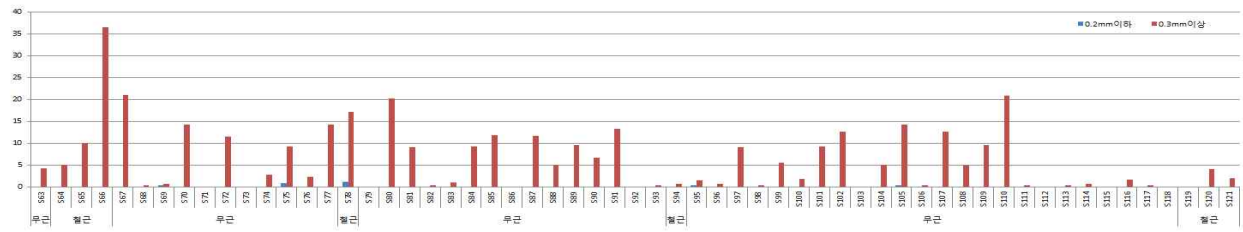
고정1터널(대구방향)은 중앙부(Span.No.065)에 비상주차대 및 피난연결통로가 위치하고 있으며, 토질조사 보고서 검토 결과, Span.No.027～031, Span.No.053～058, Span.No.084～090 구간에 약대(소규모 파쇄대)가 위치하는 것으로 조사되어 터널의 지반조건, 지보타입별, 단면 형식별 균열 발생 빈도수를 비교하여 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석하였으며 분

석 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.

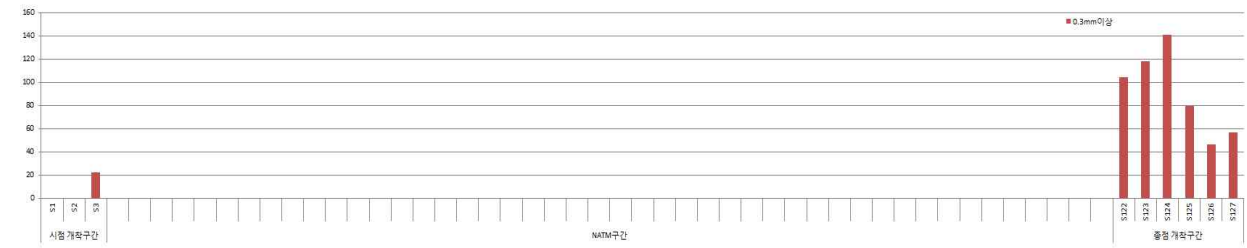
▸NATM구간 터널 전반부(S4~S62)



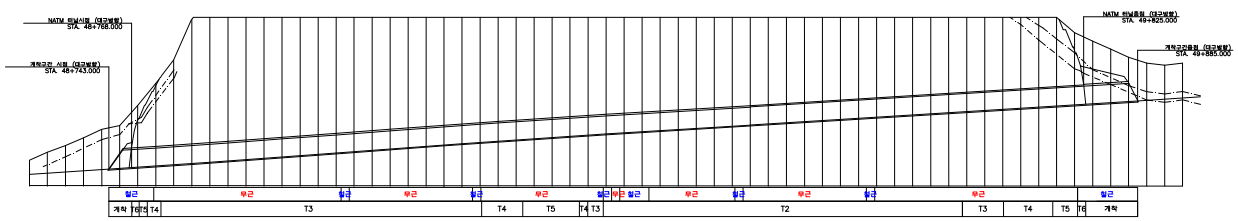
▸NATM구간 터널 후반부(S63~S121)



▸개착구간(시점부 : S1~S3, 종점부 : S122~S129)



▸라이닝 및 지보패턴 구분



· 설계도서 검토결과 Span.No.027~031, Span.No.053~058, Span.No.090~094에 약대(소규모 파쇄대)가 위치함

- 총 균열발생 연장을 지보패턴별로 분류한 결과 NATM 구간 중 T-2 구간이 단위 m당 균열연장 1.3m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며, 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다.
- 비상주차대 및 피난연결통로 위치(Span.No.064～066)의 확폭구간, NATM부 철근 배근 구간에서는 전반적으로 균열밀도가 높지 않으며, 2개소의 Span(S30, S66)에서 균열밀도가 높게 나타났다.
- NATM 구간의 균열은 후반부 보다 전반부가 높게 나타나 지반상태에 의한 영향을 배제할 수 없으나 후반부 및 전반부의 T-4, T-5구간이 T-2구간보다 균열발생 밀도가 낮아 지반조건보다는 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 전반부의 균열밀도가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.
- 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.
- 종점부 개착터널 구간은 토피고가 높지 않고 배수터널로 시공된 상태로 라이닝에 일정 간격의 종방향 균열이 다수 발생되어 균열 밀도가 높게 나타났다.

【표 1.1.6】지보패턴별 균열발생 빈도

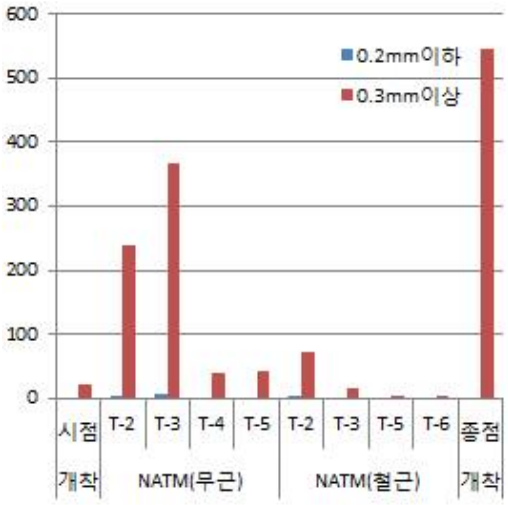
• 지보패턴별 전체 균열발생 연장

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근				철근				종점 개착
		T-2	T-3	T-4	T-5	T-2	T-3	T-5	T-6	
균열 총연장(m)	22.1	240.5	374.9	40.5	43.0	74.9	15.1	4.1	2.0	546.5
지보타입 연장(m)	25.0	346	403	108	71.0	59.0	35.0	18.0	17.0	60.0
단위 m당 균열연장(m)	0.9	0.7	0.9	0.4	0.6	1.3	0.4	0.2	0.1	9.1
비율(%)	1.6	17.6	27.5	3.0	3.2	5.5	1.1	0.3	0.1	40.1

• 지보패턴별 폭 0.3㎜이상 균열발생 연장

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근				철근				종점 개착
		T-2	T-3	T-4	T-5	T-2	T-3	T-5	T-6	
균열 총연장(m)	22.1	238.8	368.3	40.5	43.0	73.7	15.1	4.1	2.0	546.5
지보타입 연장(m)	25.0	346.0	403.0	108.0	71.0	59.0	35.0	18.0	17.0	60.0
단위 m당 균열연장(m)	0.9	0.7	0.9	0.4	0.6	1.2	0.4	0.2	0.1	9.1
비율(%)	1.6	17.6	27.2	3.0	3.2	5.4	1.1	0.3	0.2	40.5

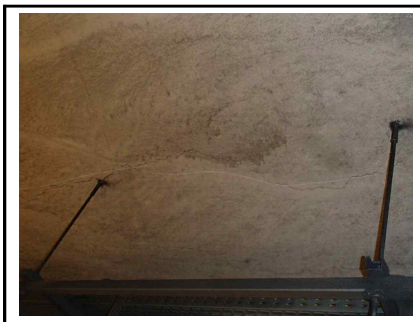
【표 1.1.7】 전체 균열발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	-	-	10	22.1	10	22.1
NATM (무근)	T-2	4	1.7	80	238.8	84	240.5
	T-3	4	6.6	125	368.3	129	374.9
	T-4	-	-	20	40.5	20	40.5
	T-5	-	-	10	43.0	10	43.0
NATM (철근)	T-2	1	1.2	24	73.7	25	74.9
	T-3	-	-	7	15.1	7	15.1
	T-5	-	-	3	4.1	3	4.1
	T-6	-	-	1	2.0	1	2.0
개착	종점	-	-	98	546.5	98	546.5
총합계		9	9.5	378	1354.1	387	1363.6

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 종점부 개착터널 구간의 종방향 균열은 타이 홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 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 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.



천단부 종균열(0.3㎜이상)-S8(무근)

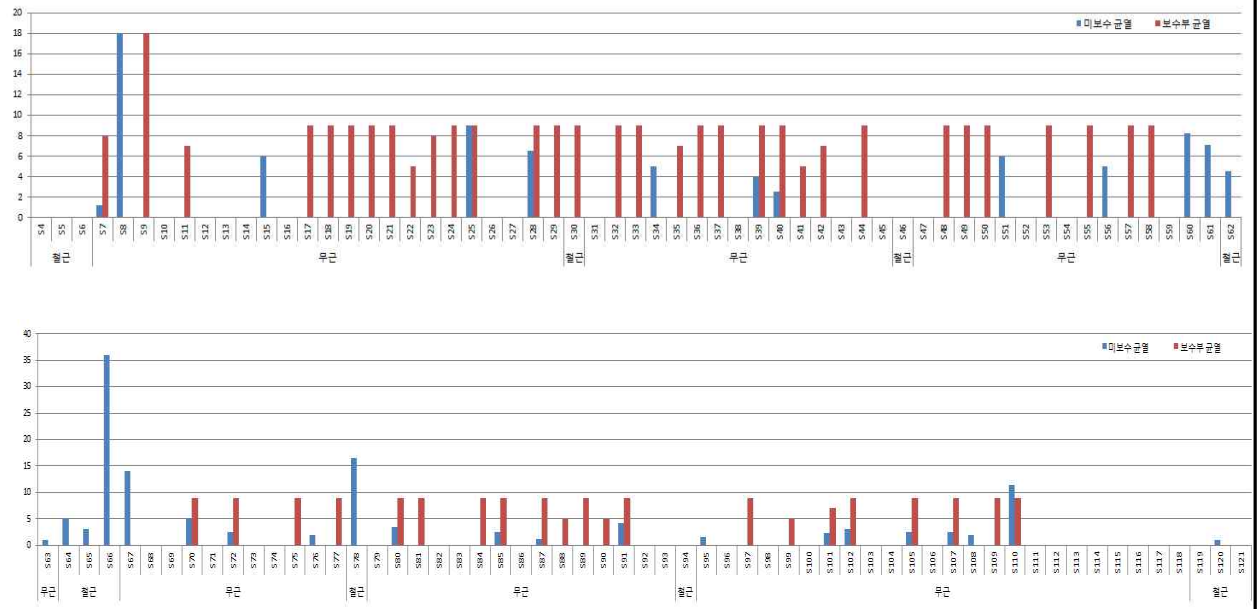
천단부 종균열(0.3㎜이상)-S60(무근)

개착부 종균열(cw=0.3㎜)-S126(철근)

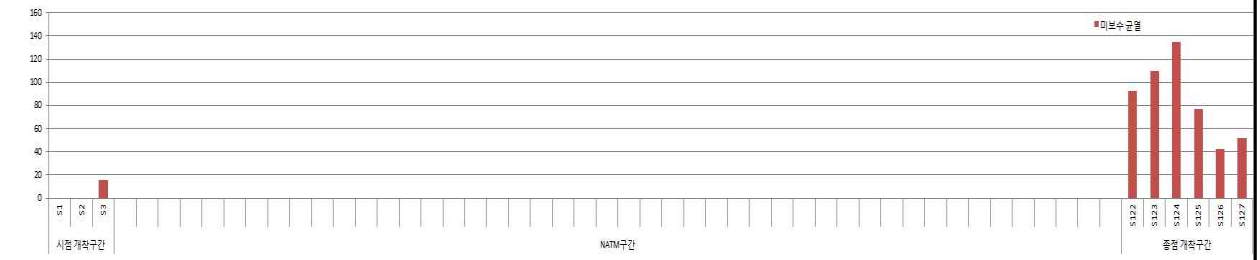
【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1)

● 외관조사 결과

- NATM구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 120개소, 661.7m)



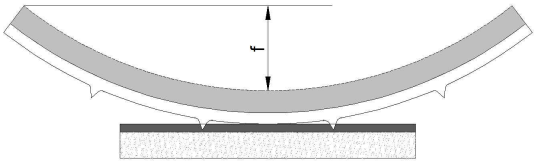
- 개착구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 86개소, 524.9m)



● 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.

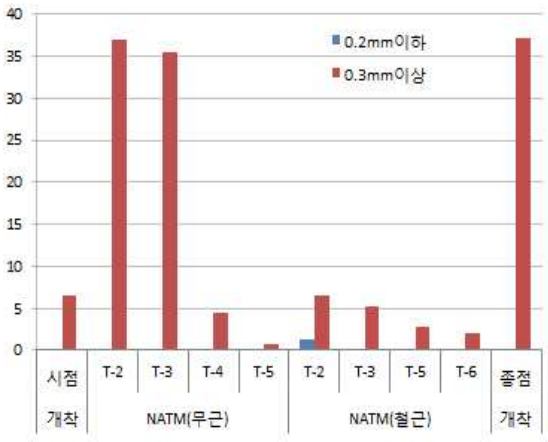
- 관리방안

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 표면처리가 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 발생되는 비구조적 손상으로 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면처리가 바람직하다.

【표 1.1.8】횡방향 균열발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	-	-	3	6.5	3	6.5
NATM (무근)	T-2	-	-	16	37	16	37
	T-3	-	-	23	35.4	23	35.4
	T-4	-	-	6	4.5	6	4.5
	T-5	-	-	1	0.8	1	0.8
NATM (철근)	T-2	1	1.2	2	6.6	3	7.8
	T-3	-	-	3	5.2	3	5.2
	T-5	-	-	1	2.8	1	2.8
	T-6	-	-	1	2	1	2
개착	종점	-	-	19	37.2	19	37.2
총합계		1	1.2	75	138.0	76	139.2

천단부 횡균열(Cw=0.5㎜)-S62(철근)

천단부 횡균열(Cw=0.3㎜)-S10(무근)

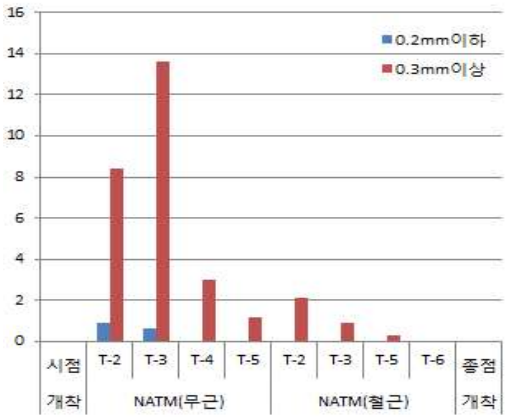
【사진 1.1.2】라이닝 외관조사 결과(2)

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 표면처리가 바람직하다.

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

【표 1.1.9】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	4
NATM (무근)	T-2	3	0.9	28	8.4	50	1,175.75
	T-3	2	0.6	44	13.6	34	631.5
	T-4	-	-	10	3.0	16	326
	T-5	-	-	4	1.2	7	150
NATM (철근)	T-2	-	-	7	2.1	2	28
	T-3	-	-	3	0.9	-	-
	T-5	-	-	1	0.3	2	61.5
	T-6	-	-	-	-	-	-
개착	종점	-	-	-	-	4	19
총합계		5	1.5	97	29.5	116	2,395.75

2) 누수 및 백태

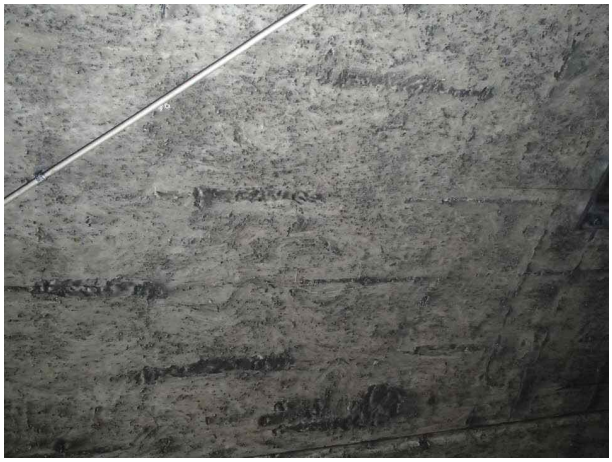
고정1터널(대구방향)의 경우 누수 및 백태는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

3) 단면손상(철근노출)

철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간 중 철근이 배근된 피난연락갱(S64, S66), Jet Fan(S30, S62, S94), T-6의 개착터널 인접구간(S4, S5)에서 발생되었으며, 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.

【표 1.1.10】철근노출 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량	비 고
004	천단부	T-6	2	30.36㎡	피복부족에 의한 철근노출
005	천단부	T-3	2	0.24㎡	피복부족에 의한 철근노출
030	천단부	T-3	1	0.12㎡	피복부족에 의한 철근노출
062	천단부	T-2	2	7.62㎡	피복부족에 의한 철근노출
064	천단부	T-2	2	0.24㎡	피복부족에 의한 철근노출
066	천단부	T-2	2	0.24㎡	피복부족에 의한 철근노출
094	천단부	T-2	2	30.12㎡	
총합계	-	-	13	68.94㎡	-

	
개착터널 인접 보강구간-S5	Jet Fan 천단부 철근노출-S94

【사진 1.1.3】 라이닝 외관조사 결과(3)

4) 단면손상(비철근노출)

- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리 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.006 천단부에 시공시 타설불량에 의한 재료분리가 조사되어 공용증가에 따라 차량의 배기가스 등에 의해 열화진행 가능성이 있어 단면보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.11】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

발생위치 / 손상내용	천단부	좌벽체	우벽체	합 계
들뜸(㎡/개소)	1.10/21	-	-	**1.10/21**
박락(㎡/개소)	0.20/3	0.93/22	0.54/12	**1.67/37**
박락/들뜸(㎡/개소)	0.02/1	-	-	**0.02/1**
보수부 박락(㎡/개소)	-	0.18/2	-	**0.18/2**
재료분리(㎡/개소)	15.00/1	-	-	**15.00/1**
파손(㎡/개소)	0.01/1	-	0.01/1	**0.02/2**

【표 1.1.12】천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보 패턴	개소	손상물량 (㎡)	손상내용	Span.No.	발생위치	지보 패턴	개소	손상물량 (㎡)	손상내용
004	천단부	T-6	1	0.03	들뜸	076	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
006	천단부	T-3	1	15.00	재료분리	083	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
023	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	084	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
029	천단부	T-3	1	0.16	들뜸	085	천단부	T-2	1	0.01	들뜸
029	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	091	천단부	T-2	1	0.10	들뜸
046	천단부	T-3	1	0.03	박락	095	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
048	천단부	T-4	1	0.02	들뜸	096	천단부	T-2	1	0.02	박락/들뜸
057	천단부	T-5	1	0.01	들뜸	100	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
068	천단부	T-2	1	0.20	들뜸	101	천단부	T-2	1	0.05	박락
068	천단부	T-2	1	0.05	들뜸	103	천단부	T-2	1	0.01	파손
069	천단부	T-2	2	0.04	들뜸	104	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
074	천단부	T-2	1	0.02	들뜸	110	천단부	T-3	1	0.20	들뜸
075	천단부	T-2	1	0.04	들뜸						
075	천단부	T-2	1	0.12	박락	합 계			27	16.29	-

신축이음부 콘크리트 들뜸-S29, 어깨부

천단부 박락-S48, 천단부

신축이음부 박락-S82, 벽체부

재료분리 박락-S6, 천단부

【사진 1.1.4】라이닝 외관조사 결과(4)

5) 기타(타일, 표면오염 손상)

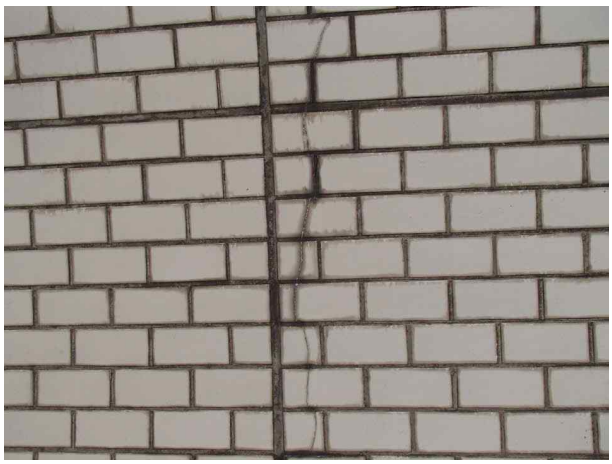
- 타일은 조명효과 향상, 운전자의 시선유도, 마감에 따른 미관성 향상 등의 목적으로 벽체부에 설치하는 마감재로 일부 개소에 파손, 균열 손상이 조사되었으나, 국부적으로 발생된 경미한 손상으로 기능발휘에는 문제가 없어 부분 보수 보다는 향후, 손상 진행시 보수계획을 수립하여 일괄 보수 실시가 바람직하다.
- 표면오염 손상은 시점측 Bell Mouth 절개부에 우수가 유입되어 발생된 손상이나 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하며 향후, 손상증대시 표면처리가 필요하다.

【표 1.1.13】기타 손상 발생 현황

발생위치 / 손상내용	시점측 Bell Mouth	좌벽체	우벽체	합 계
타일균열(개소)	-	52	89	141
타일파손(개소)	-	11	13	24
표면오염(㎡/개소)	60.00/1	-	-	60.00/1

타일파손-S11

타일파손-S55



타일균열-S1(좌측)

표면오염-S2, 길어깨부

【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 점검결과, 공동구 덮개 파손, 균열, 철근노출, 박락, 파손 등의 손상이 조사되었다.
- 공동구 덮개 파손은 구조물에 직접적인 영향을 미치지 않으나 설비 유지관리, 긴급 점검 및 복구시 이동로로 활용할 수 있어 점검자의 안전이동 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 주의관찰 후, 손상확대시 보수가 바람직하다.
- 철근노출, 박락, 파손 손상은 외부충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트 품질 불량부위에 발생된 손상으로, 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로, 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 단면보수가 바람직하다.

【표 1.1.14】공동구 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비 고
균열(0.2㎜이하),(m/개소)	온도 및 건조수축	6.0/20	주의관찰	-
균열(0.3㎜이상),(m/개소)	온도 및 건조수축	32.4/108	주입보수	-
파손 및 박락(㎡/개소)	외부충격 등	4.16/20	단면보수	-
철근노출(㎡/개소)	피복두께부족, 외부충격 등	2.22/7	방청+단면보수	-
공동구 덮개 파손(개소)	외부충격 등	151	재설치	-

파손-S2

철근노출-S8

【사진 1.1.6】공동구 외관조사 결과

덮개파손-S13(좌측)	철근노출-S14

【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과(계속)

라. 배수시설

1) 개요

고정1터널(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 22개소씩 총 44개소가 설치되어 있으며, 이물질 퇴적은 포장부의 이물질이 유입되어 퇴적된 손상으로 전 구간에서 조사되었으며, 원활한 배수 처리를 위해 관리주체의 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.15】 배수시설 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비고
집수구 토사퇴적(㎥/개소)	이물질 및 토사유입	6.30/42	청소실시	-

이물질 퇴적(토사)-S65	이물질 퇴적(토사)-S127

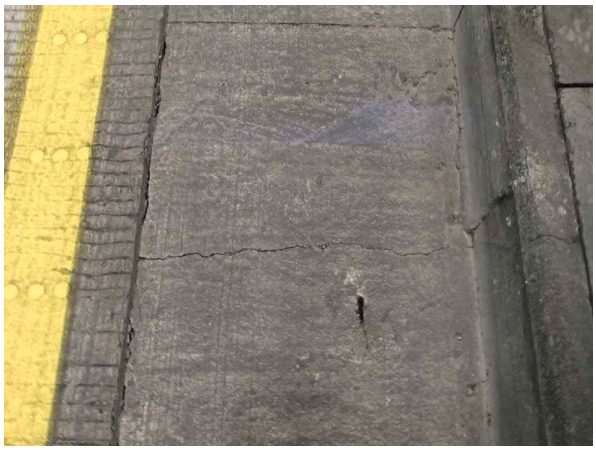
【사진 1.1.7】배수시설 외관조사 결과

마. 도로부(포장면)

- 고정1터널(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, 박락, 파손, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링, 박락, 파손 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.
- 균열은 길어깨부에 발생된 손상으로 온도 및 건조수축에 의해 발생된 균열로 터널내 오염물질에 의해 손상확대 가능성이 있어 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

【표 1.1.16】도로부(포장면) 손상발생 현황

손상내용		원인	수량	조치방안	비고
포장부 (LMC)	스캘링(㎡/개소)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	1.22/2	주의관찰	-
	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	1.38/44	주의관찰	-
	파손(㎡/개소)	차량반복하중 및 충격	0.09/5	주의관찰	
길어깨부	균열(m/개소)	온도 및 건조수축	2.55/5	주입보수	-
	박락(㎡/개소)	차량반복하중 및 충격	0.05/3	주의관찰	-

스켈링-S93	신축이음부 스폴링-S108
	
박리(길어깨)-S122	균열-S109 길어깨

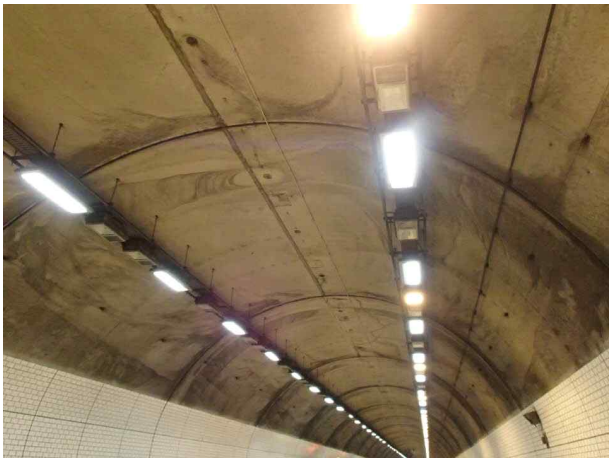
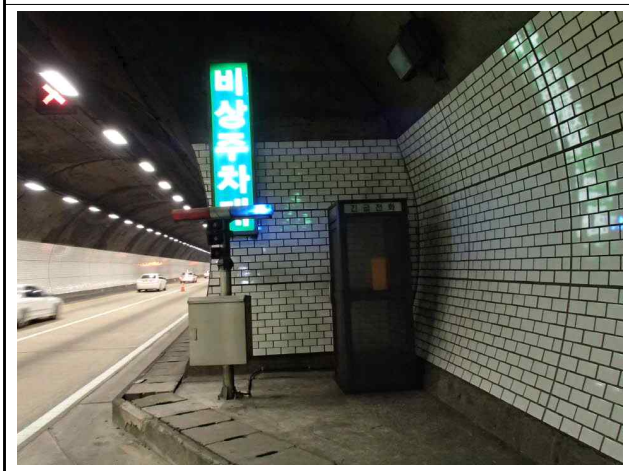
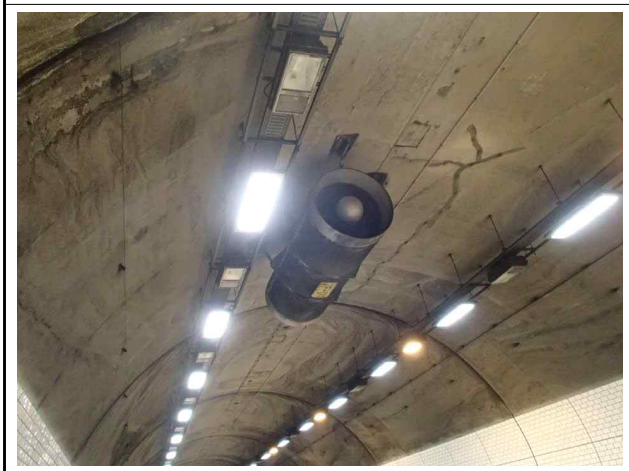
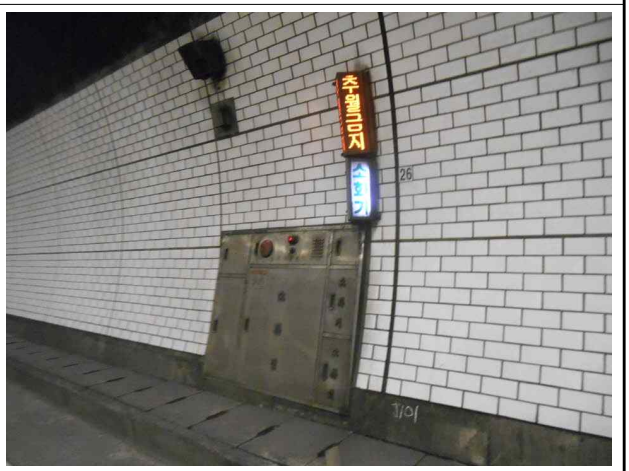
【사진 1.1.8】 도로부 외관조사 결과

바. 부대시설

1) 현황

고정터널(대구방향)은 터널 중간부에 비상주차대(Span.No.064~066)와 피난연결통로(Span.No.065)가 위치하고 있으며, 제트팬은 비상주차대 기준 전반부 3대, 후반부 2대로 총 5대가 설치되어 있다.

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

<table>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>피난연결통로 전경</td><td>조명시설 전경</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>긴급전화 설치 전경</td><td>비상구 표지판 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>Jet Fan 설치 전경</td><td>소화전 전경</td></tr>
</table>

【사진 1.1.9】부대시설 현황

2) 조사결과 및 점검의견

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

【표 1.1.17】부대시설 손상발생 현황

구 분	원인	수량	조치방안	비고
피난연결통로 바닥 균열(0.3㎜이상)	온도 및 건조수축	2.8/2	주입보수	-

바닥판 균열-횡갱

라이닝 상태 양호

【사진 1.1.10】부대시설 외관조사 결과

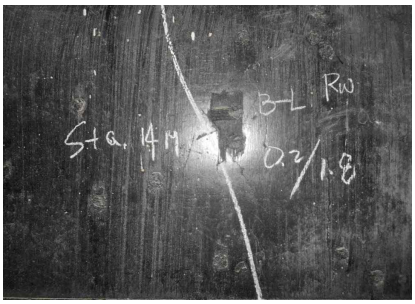
사. 부속시설(옥외공동구)

옥외공동구는 관리동과 터널 구간의 설비시설이 통과하는 시설물로 옥외공동구에 대한 조사 결과, 온도 및 건조수축에 의한 균열, 균열/백태, 들뜸, 재료분리 등의 손상이 조사되었다.

- 공동구에 발생된 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하다.
- 균열/백태 손상은 공동구에서 터널부로 연결된 설비시설 통로를 통해 터널내의 우수가 유입되어 발생된 손상으로 균열부 주입보수 및 표면처리가 바람직하며, 들뜸 및 재료분리 손상은 정밀시공 미흡에 의한 손상으로 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

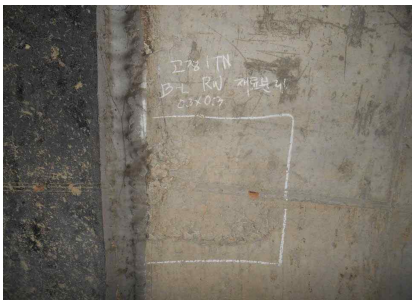
【표 1.1.18】옥외공동구 손상발생 현황

구 분	원인	수량	조치방안	비고
균열(0.3㎜미만)	온도 및 건조수축	1.9m/1개소	표면처리	
균열/백태	누수	0.7m/1개소	주입보수	
들뜸	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.40㎡/1개소	단면보수	
재료분리	시공시 타설불량	0.43㎡/3개소	단면보수	



0.2㎜ 균열

들뜸



재료분리

【사진 1.1.11】옥외공동구 외관조사 결과

아. 외관조사 결과

고정1터널(대구방향)은 금회 준공 후 10년 이내 실시하는 최초 진단으로 금회 외관조사 결과는 다음과 같다.

【표 1.1.19】 외관조사 결과

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		원인	수량	조치방안	비 고
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	5.0m/3개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	859.6m/225개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	3.0m/1개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	465.0m/56개소	주입보수	
		망상균열	0.2㎜이하	양생미흡, 건조수축	2,395.75㎡/116개소	표면처리	
		철근노출(피복두께 부족)		정밀시공 미흡	68.94㎡/13개소	방청+단면보수	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	2.99㎡/63개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	15.00㎡/1개소	단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	1.5m/5개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	29.5/97개소	주입보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	165개소	지속관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	6.0m/20개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	32.4m/108개소	주입보수	
		박락/파손		외부충격 등	4.16㎡/20개소	단면보수	
		철근노출		피복두께부족, 외부충격 등	2.22㎡/7개소	방청+단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	151개소	재설치	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	6.30㎡/42개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	스캘링	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	1.22㎡/2개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	1.38㎡/4개소	주의관찰	
			파손	차량반복하중 및 충격	0.09㎡/5개소	주의관찰	
		길어깨부	균열	온도 및 건조수축	2.55m/5개소	주입보수	
			박락	차량반복하중 및 충격	0.05㎡/3개소	주의관찰	
부대 시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	시공미흡	2.8m/2개소	주입보수	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	1.9m/1개소	표면처리	
		균열/백태		누수	0.7m/1개소	주입보수	
		들뜸		양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	0.40㎡/1개소	단면보수	
		재료분리		시공시 타설불량	0.43㎡/3개소	단면보수	

1.1.4 기 점검결과와 비교

【표 1.1.20】기 점검결과와 손상물량 비교표

구 분		결함내용 및 손상, 열화내용		2013년 정밀점검	금회 진단	증감	비고
본선터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	23.2m/10개소	5.0m/3개소	▽	
			0.3㎜이상	73.0m/20개소	859.6m/225개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	-	3.0m/1개소	△	
			0.3㎜이상	448.0m/54개소	465.0m/56개소	△	
		망상균열	0.2㎜이하	25.0m/5개소	2,395.75㎡/116개소	△	
		철근노출(피복두께 부족)		-	68.94㎡/13개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	0.60㎡/15개소	2.99㎡/63개소	△	
			재료분리	15.00㎡/1개소	15.00㎡/1개소	-	
		표면오염		-	60.00㎡/1개소	△	
		제트팬 녹발생		9개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		-	1.5m/5개소	△	
		균열(0.3㎜이상)		6.6m/6개소	29.5/97개소	△	
		망상균열		84.70㎡/12개소	(천단부에 포함)	-	
		타일균열/파손		25개소	165개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	6.0m/20개소	△	
			0.3㎜이상	6.6m/6개소	32.4m/108개소	△	
		박락/파손		0.08㎡/5	4.16㎡/20개소	△	
		철근노출		-	2.22㎡/7개소	△	
		공동구 덮개 파손		120개소	151개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	6.30㎡	△	
	도로부 (포장면)	스캘링		0.14㎡/7개소	1.22㎡/2개소	△	
		스폴링		0.32㎡/11개소	1.38㎡/4개소	△	
		박락/파손		0.65㎡/2개소	0.14㎡/8개소	▽	보수
		균열		-	2.55m/5개소	△	
부대시설	피난연결통로	균열(바닥)	0.3㎜이상	-	2.8m/2개소	△	
	옥외 공동구	균열	0.2㎜이하	-	1.9m/1개소	△	
		누수		2개소	-	▽	보수
		체수		100.00㎡/1개소	-	▽	보수
		균열/백태		-	0.7m/1개소	△	
		들뜸		-	0.40㎡/1개소	△	
		재료분리		-	0.43㎡/3개소	△	

2014년 제트팬 정비가 실시된 것으로 확인되었으며, 포장부 일부 손상 및 옥외 공동구 누수, 체수 등은 보수가 실시되어 감소되었으나, 공용기간 증가 및 점검장비를 이용한 근접조사에 의해 전반적으로 라이닝, 공동구, 포장부의 손상은 증가 또는 추가로 조사되었다.

1.2 내구성 조사 결과

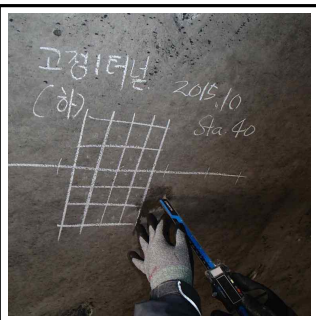
본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 1.2.1】 고정1터널(대구) 콘크리트 비파괴시험 현황

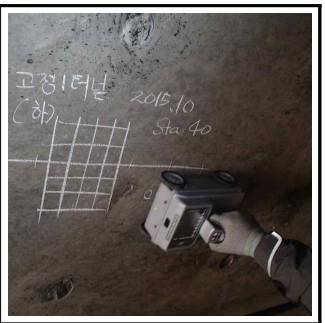
항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기준	실시	
측점분할		• 신축이음부 또는 평가단위로 분할 • 5~50m 간격	-	SPAN 구분	
단면측량		• 종 · 횡단측량 및 선형측량 • 총수량 = (총연장/200) + 1	7	종단 : 1 횡단 : 6	
비파괴 강도	반발경도법	• 총수량 = (총연장/100)×2	23	23	
	초음파법		23	23	
철근탐사시험		• 총연장 1,000미만 = 4개소 • 총연장 1,000이상 = 초 4개소 + 500m당 1개소 추가	5	7	
탄산화깊이 측정			5	7	
염화물함유량시험			5	7	
균열깊이 조 사		• 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정	-	4	Cw=0.3㎜이상 균열

반발경도시험

초음파전달속도시험

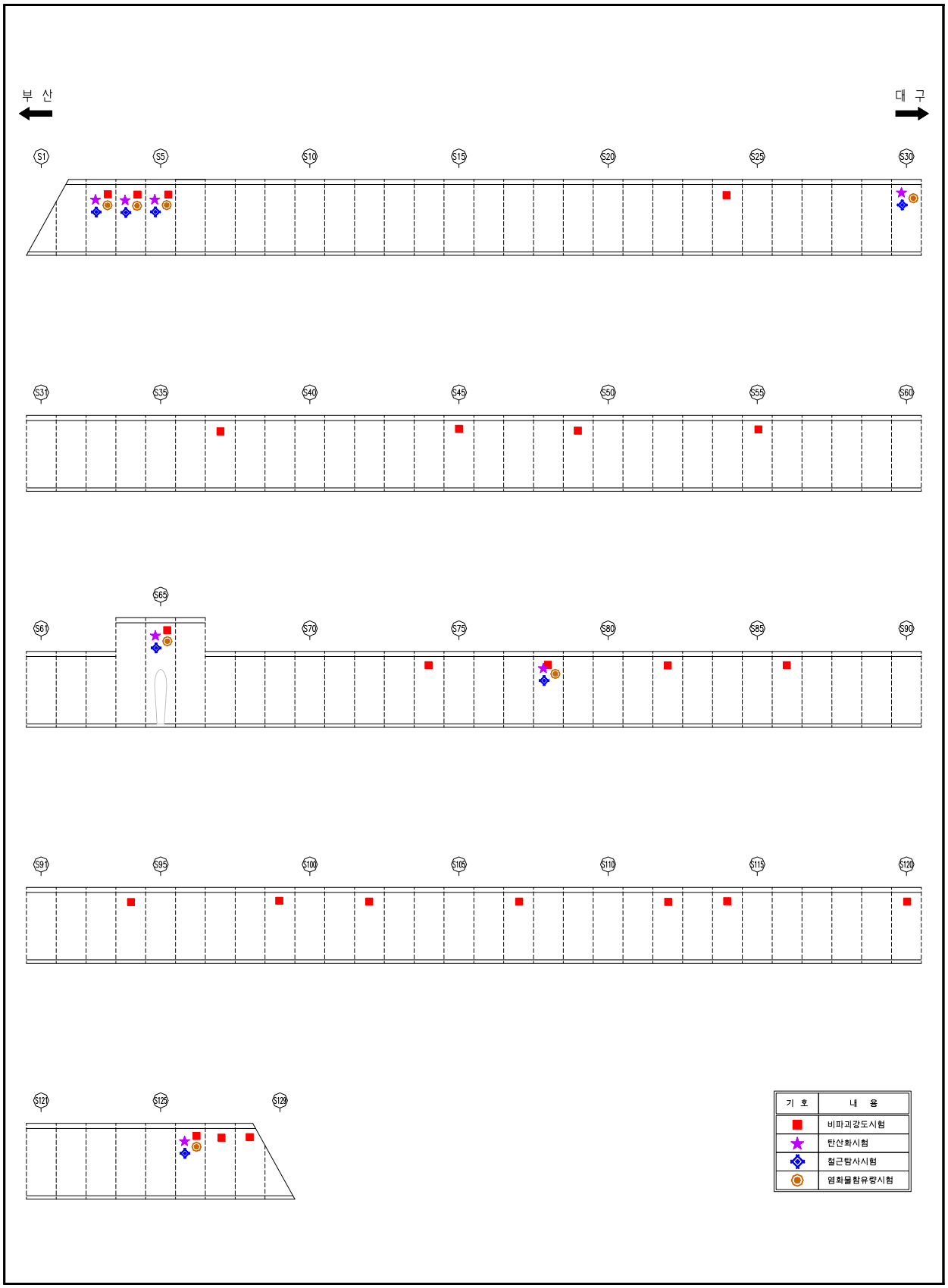


탄산화 깊이 측정



철근탐사시험

【사진 1.2.1】 콘크리트 내구성조사 전경



【그림 1.2.1】고정1터널(대구) 콘크리트 내구성조사 위치도

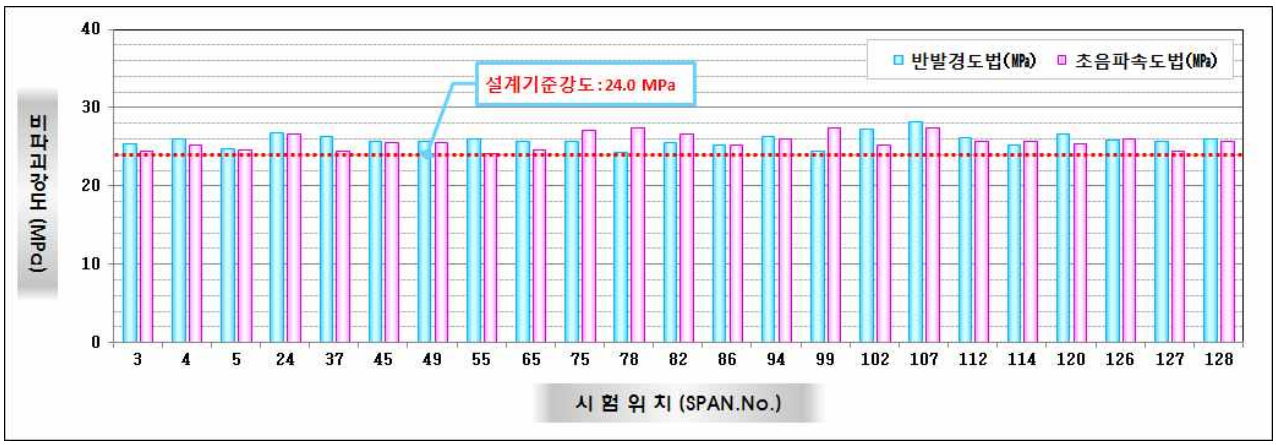
1.2.1 콘크리트 강도시험

고정1터널(대구)의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법 및 초음파속도법를 이용하여 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 대한 총 23개소의 비파괴강도시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

가. 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. 3	44.7	3.899	24.4	26.3	25.4	21.4	27.5	24.5	24.0
	SPAN. 4	45.7	3.944	25.2	26.8	26.0	22.3	28.0	25.2	
	SPAN. 5	43.7	3.915	23.6	25.9	24.8	21.7	27.7	24.7	
	SPAN. 24	46.9	4.043	26.2	27.3	26.8	24.4	28.9	26.7	
	SPAN. 37	46.2	3.894	25.6	27.0	26.3	21.3	27.5	24.4	
	SPAN. 45	45.2	3.964	24.8	26.5	25.7	22.8	28.2	25.5	
	SPAN. 49	45.3	3.973	24.9	26.6	25.8	23.0	28.2	25.6	
	SPAN. 55	45.7	3.879	25.2	26.8	26.0	21.0	27.3	24.2	
	SPAN. 65	45.4	3.914	25.0	26.6	25.8	21.7	27.7	24.7	
	SPAN. 74	45.2	4.067	24.8	26.5	25.7	24.9	29.2	27.1	
	SPAN. 78	42.9	4.09	23.0	25.5	24.3	25.4	29.4	27.4	
	SPAN. 82	45.0	4.037	24.7	26.5	25.6	24.3	28.9	26.6	
	SPAN. 86	44.4	3.949	24.2	26.2	25.2	22.4	28.0	25.2	
	SPAN. 94	46.1	4.003	25.5	27.0	26.3	23.6	28.5	26.1	
	SPAN. 99	43.2	4.085	23.2	25.6	24.4	25.3	29.4	27.4	
	SPAN. 102	47.7	3.953	26.8	27.7	27.3	22.5	28.0	25.3	
	SPAN. 107	49.3	4.089	28.1	28.4	28.3	25.4	29.4	27.4	
	SPAN. 112	46.0	3.981	25.5	26.9	26.2	23.1	28.3	25.7	
	SPAN. 114	44.4	3.981	24.2	26.2	25.2	23.1	28.3	25.7	
	SPAN. 120	46.6	3.956	25.9	27.2	26.6	22.6	28.1	25.4	
	SPAN. 126	45.5	3.996	25.1	26.7	25.9	23.4	28.5	26.0	
	SAPN. 127	45.2	3.897	24.8	26.5	25.7	21.3	27.5	24.4	
	SAPN. 128	45.8	3.982	25.3	26.8	26.1	23.1	28.3	25.7	
평 균				25.0	26.7	25.9	23.0	28.3	25.7	
표 준 편 차				1.1	0.6	0.9	1.4	0.6	1.0	
변 동 계 수				4.4	2.4	3.4	6.0	2.3	3.9	



【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과

- 각 시험법에 의한 비파괴강도 검토결과, 설계기준 대비 101~118%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 고정1터널(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	24.3 ~ 28.3	24.0	101 ~ 118
	초음파속도법	24.2 ~ 27.4	24.0	101 ~ 114

나. 기 점검결과와의 비교

【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법	라이닝	26.6~28.3	24.3~28.3	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 7개소의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

【표 1.2.5】 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	SPAN. 3	횡방향철근	99	83	100	40.5	
		종방향철근	176	98	180	59.5	
	SPAN. 4	횡방향철근	100	31	100	40.5	
		종방향철근	146	64	180	59.5	
	SPAN. 5	횡방향철근	118	32	100	40.5	
		종방향철근	135	52	180	59.5	
	SPAN. 30	횡방향철근	132	80	125	40.5	
		종방향철근	153	94	145	59.5	
	SPAN. 65	횡방향철근	123	65	125	40.5	
		종방향철근	150	98	145	59.5	
	SPAN. 78	횡방향철근	130	72	125	40.5	
		종방향철근	156	97	145	59.5	
	SPAN. 126	횡방향철근	98	81	100	40.5	
		종방향철근	194	91	180	59.5	

【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석

구 분	철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	횡방향철근	98~132	31~83	100, 125	40.5	
	종방향철근	135~194	52~98	145, 180	59.5	

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.

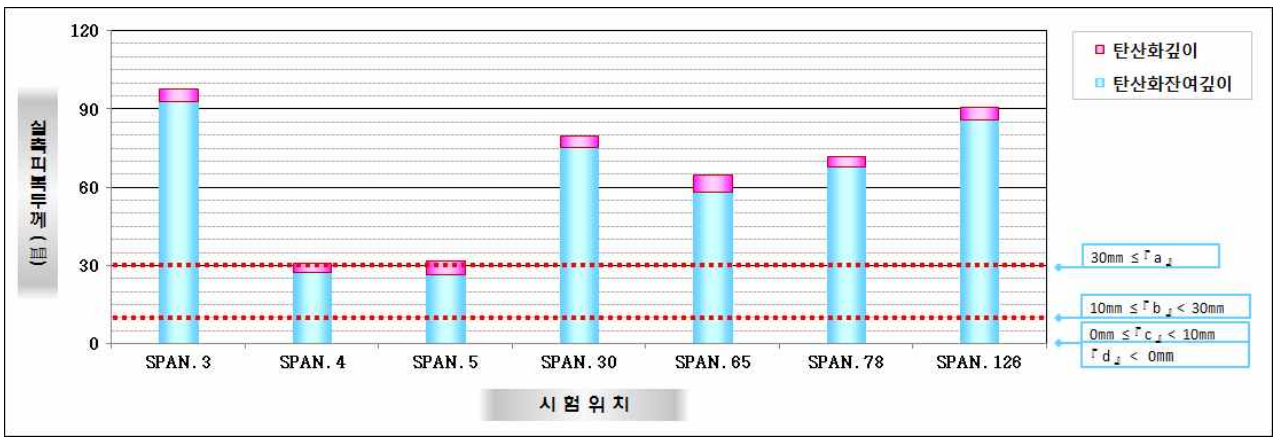
1.2.3 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 라이닝 천단 및 어깨부에 총 7개소의 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. 3	5.1	98.0	92.9	a	1.638	3,570	100년이상
	SPAN. 4	3.5	31.0	27.5	b	1.124	751	
	SPAN. 5	5.5	32.0	26.5	b	1.766	319	
	SPAN. 30	4.7	80.0	75.3	a	1.509	2,801	
	SPAN. 65	6.5	65.0	58.5	a	2.087	960	
	SPAN. 78	4.2	72.0	67.8	a	1.349	2,839	
	SPAN. 126	4.9	91.0	86.1	a	1.573	3,337	



【그림 1.2.3】고정1터널(대구) 탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 10.0㎜ 이상으로 측정되어 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2012. 10)』의 건전성 평가 기준에 의거 "a~b"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 ~ 4.0	3.5 ~ 6.5	
검토의견	■ 기 정밀안전진단('09년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 탄산화의 급격한 진전은 없는 것으로 판단됨.		

1.2.4 염화물함유량 시험

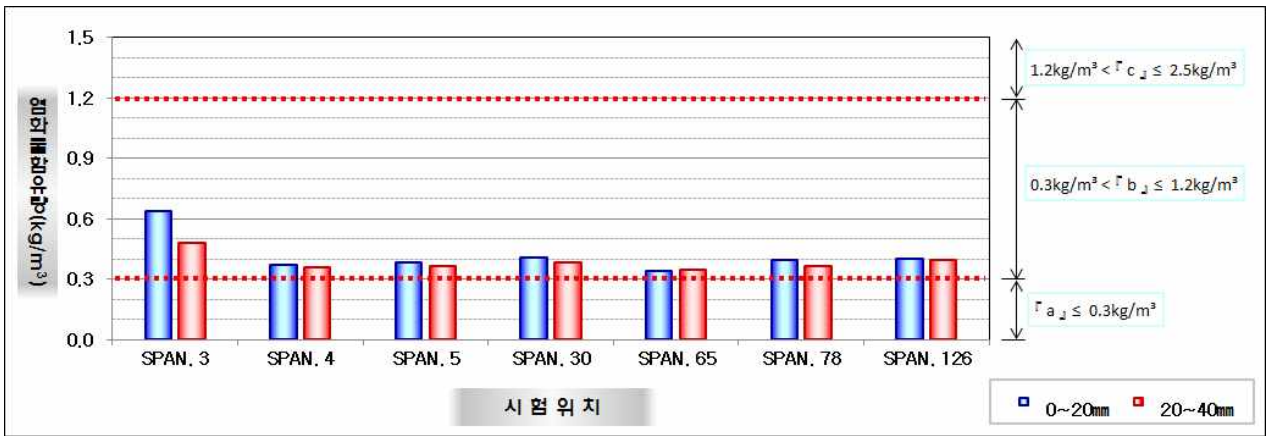
염화물함유량 시험은 라이닝 천단부 및 어깨부에 총 7개소에 대하여 깊이별 시료를 채취하여 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 1.2.9】염화물함유량 시험결과 및 평가

시험위치		측정 깊이	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
라이닝	SPAN. 3	0~20㎜	0.0281	0.635	b	
		20~40㎜	0.0212	0.479	b	
	SPAN. 4	0~20㎜	0.0164	0.371	b	
		20~40㎜	0.0159	0.359	b	
	SPAN. 5	0~20㎜	0.0168	0.380	b	
		20~40㎜	0.0161	0.364	b	
	SPAN. 30	0~20㎜	0.0181	0.409	b	
		20~40㎜	0.0170	0.384	b	
	SPAN. 65	0~20㎜	0.0149	0.337	b	
		20~40㎜	0.0152	0.343	b	
	SPAN. 78	0~20㎜	0.0175	0.396	b	
		20~40㎜	0.0162	0.366	b	
	SPAN. 126	0~20㎜	0.0178	0.402	b	
		20~40㎜	0.0175	0.396	b	

※ 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 "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. 3	0.3	200	52.4	72.4	95.3	98	
	SPAN. 65	0.3	200	55.8	67.2	67.1	65	
	SPAN. 78	0.3	200	58.1	81.6	98.6	72	
	SPAN. 126	0.3	200	53.6	71.1	87.2	91	

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

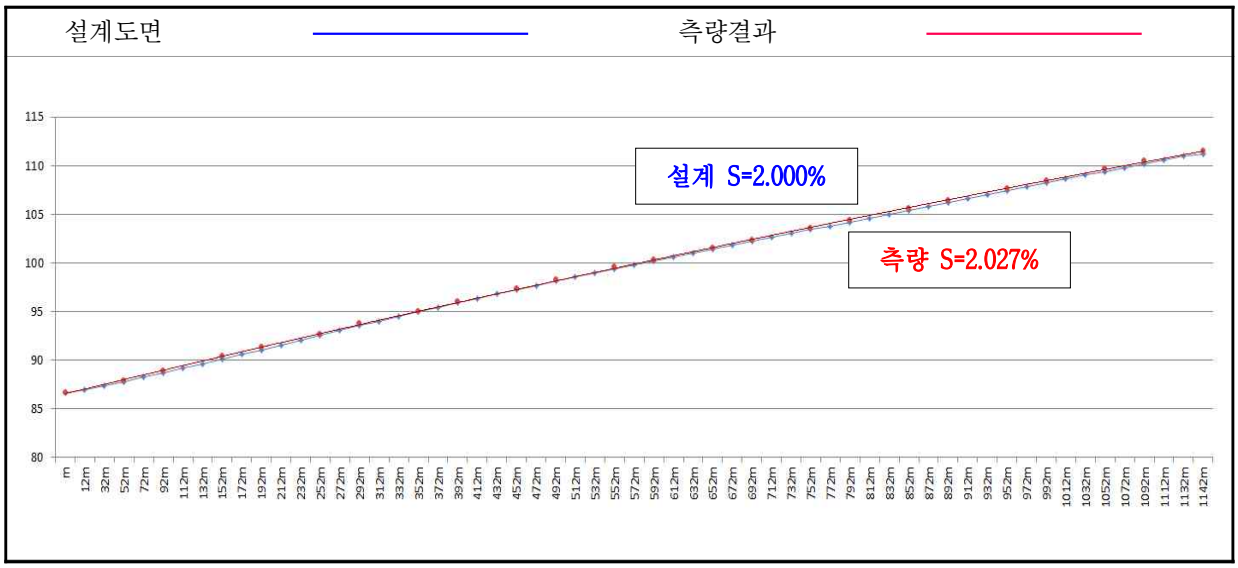
1.2.6 단면측량 결과

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

고정1터널(대구)의 종단선형은 시점에서 597m 까지 선형 변화구간으로 종단측량 결과, 대체로 설계치와 유사하게 측정되었고 종단경사 S=2.000%인 597m～종점부 구간은 실측치가 S=2.027%로 0.027%의 오차가 발생하였으나 오차범위가 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공오차 및 측정오차 등에 의해 발생된 것으로 판단된다.(종단측량은 중앙차선(2차로)을 기준으로 레벨측량을 실시함)

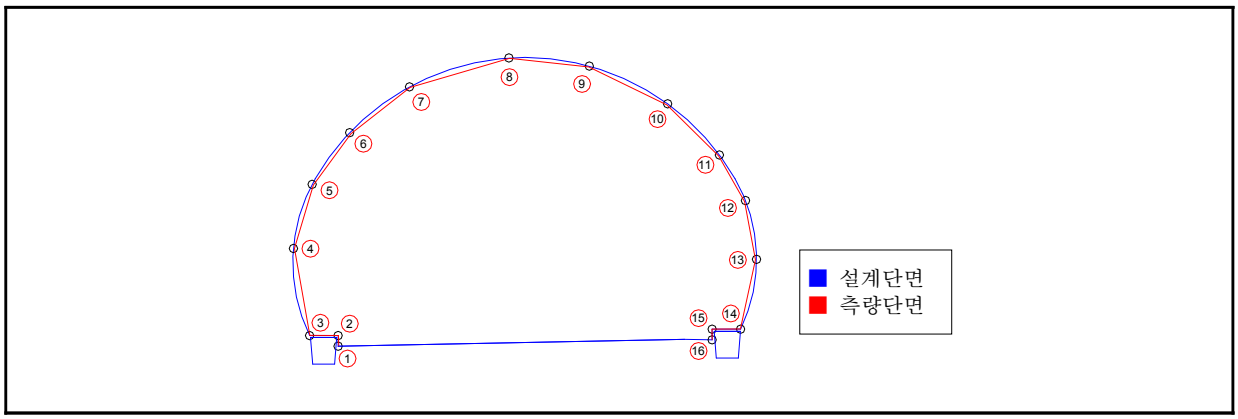
【표 1.2.11】 고정1터널(대구) 종단측량 결과

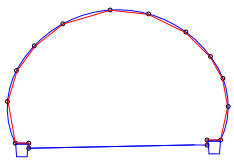
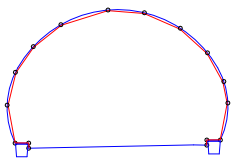
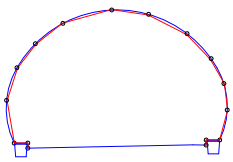


나. 내공변위 측량

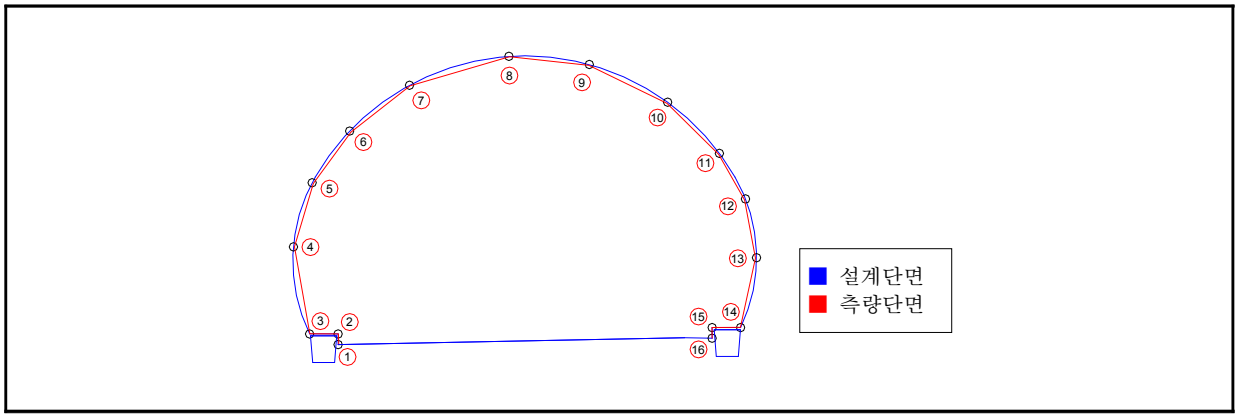
내공변위 측량 결과 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단된다.

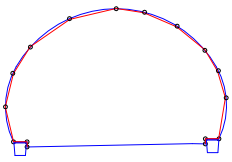
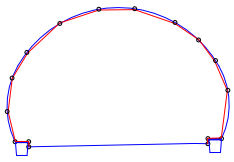
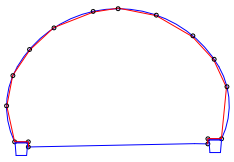
【표 1.2.12】 고정1터널(대구) 내공변위 측량 결과



시험위치	S23				S34				S56			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	-0.0880	-4.3830	-0.0877	-4.4000	-0.0880	-4.3832	-0.0805	-4.4000	-0.0880	-4.3888	-0.0878
②	-4.4000	0.1620	-4.3904	-4.3904	-4.4000	0.1620	-4.3974	0.1691	-4.4000	0.1620	-4.3931	0.1663
③	-5.0700	0.1620	-5.0655	0.1658	-5.0700	0.1620	-5.0707	0.1736	-5.0700	0.1620	-5.0595	0.1679
④	-5.4520	2.2090	-5.4249	2.2108	-5.4631	2.0232	-5.4163	2.0242	-5.4208	2.2461	-5.4208	2.2461
⑤	-5.0114	3.7182	-4.9819	3.7012	-5.0566	3.6297	-5.0263	3.6122	-4.9360	3.8588	-4.9053	3.8445
⑥	-4.1284	4.9331	-4.0972	4.9062	-4.1708	4.8881	-4.1501	4.8603	-4.0248	5.0401	-3.9987	5.0185
⑦	-2.7208	6.0110	-2.7077	5.9984	-2.8077	5.9628	-2.7858	5.9358	-2.6630	6.0419	-2.6924	6.0489
⑧	-0.3816	6.6908	-0.3681	6.6797	-0.4796	6.6818	-0.4806	6.6502	-0.2539	6.6963	-0.2673	6.7136
⑨	1.5109	6.4982	1.4984	6.4767	1.3199	6.5471	1.3009	6.5121	1.5596	6.4851	1.5448	6.4492
⑩	3.3540	5.6113	3.3401	5.5820	3.0942	5.7895	3.0747	5.7429	3.4565	5.5349	3.4352	5.4908
⑪	4.5709	4.4088	4.5557	4.3855	4.4343	4.5847	4.4211	4.5386	4.6450	4.3071	4.6099	4.2714
⑫	5.1859	3.3360	5.1641	3.3115	5.2430	3.1799	5.1934	3.1544	5.2738	3.0854	5.3043	3.0712
⑬	5.4456	1.9555	5.4188	1.9466	5.4420	2.1275	5.4094	2.1106	5.4393	1.7872	5.4591	1.7771
⑭	5.0699	0.3120	5.0656	0.3177	5.0699	0.3120	5.0626	0.3243	5.0699	0.3120	5.0661	0.3188
⑮	4.4000	0.3120	4.3978	0.3136	4.4000	0.3120	4.3930	0.3150	4.4000	0.3120	4.3986	0.3164
⑯	4.4000	0.0620	4.3970	0.0621	4.4000	0.0620	4.3886	0.0622	4.4000	0.0620	4.3923	0.0654
단면												

【표 1.2.12】 고정1터널(대구) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S75				S90				S113			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	-0.0880	-4.3885	-0.0878	-4.4000	-0.0880	-4.3923	-0.0820	-4.4000	-0.0880	-4.3909	-0.0878
②	-4.4000	0.1620	-4.3975	0.1654	-4.4000	0.1620	-4.3959	0.1693	-4.4000	0.1620	-4.3987	0.1661
③	-5.0700	0.1620	-5.0642	0.1694	-5.0700	0.1620	-5.0576	0.1694	-5.0700	0.1620	-5.0691	0.1679
④	-5.4656	1.8822	-5.4765	1.8775	-5.4576	1.6317	-5.4113	1.6251	-5.4653	1.9306	-5.4545	1.9226
⑤	-5.1051	3.5282	-5.0732	3.5121	-5.2147	3.2654	-5.2047	3.2569	-5.1534	3.4187	-5.1611	3.4278
⑥	-4.2343	4.8188	-4.2446	4.8341	-4.4917	4.5125	-4.4539	4.4839	-4.3403	4.6979	-4.3225	4.6801
⑦	-2.3077	6.2142	-2.2898	6.1796	-2.8709	5.9265	-2.8765	5.9488	-3.1413	5.7587	-3.1502	5.7749
⑧	0.1000	6.7020	0.1000	6.7144	-0.9569	6.6211	-0.9558	6.5810	-1.2231	6.5686	-1.2148	6.5344
⑨	1.3991	6.5277	1.3669	6.5034	0.8031	6.6452	0.7916	6.6023	0.0000	6.7020	0.0176	6.7306
⑩	3.0062	5.8452	2.9845	5.8111	2.7853	5.9754	2.7681	5.9297	1.8715	6.3861	1.8693	6.3594
⑪	4.3674	4.6659	4.3805	4.6793	3.9400	5.1218	3.9611	5.1272	3.6644	5.3685	3.6321	5.3353
⑫	5.0426	3.6577	4.9957	3.6365	4.7748	4.1167	4.7284	4.0951	4.7078	4.2170	4.6803	4.1972
⑬	5.4280	2.3237	5.3870	2.3258	5.3782	2.6694	5.3555	2.6588	5.3340	2.8706	5.3107	2.8350
⑭	5.0700	0.3120	5.0530	0.3188	5.0700	0.3120	5.0563	0.3472	5.0699	0.3120	5.0623	0.3208
⑮	4.4000	0.3120	4.3982	0.3152	4.4000	0.3120	4.3836	0.3261	4.4000	0.3120	4.3958	0.3208
⑯	4.4000	0.0620	4.3967	0.0661	4.4000	0.0620	4.3860	0.0623	4.4000	0.0620	4.3887	0.0695
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>24.3～28.3</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>101 ～ 118</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>24.2～27.4</td><td>101 ～ 114</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>98～132</td><td>31～83</td><td>100, 125</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>135～194</td><td>52～98</td><td>145, 180</td><td>59.5</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>3.5～6.5</td><td>31～98</td><td>26.5～92.9</td><td>a～b</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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">0.0149～0.0281</td><td colspan="2">0.337～0.635</td><td>b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮은 상태인 “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</td><td colspan="2">67.1～98.6</td><td>65～98</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="6">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 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>26.6~28.3</td><td>24.3~28.3</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>3.0 ~ 4.0</td><td>3.5 ~ 6.5</td><td>a~b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="3">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a~b”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

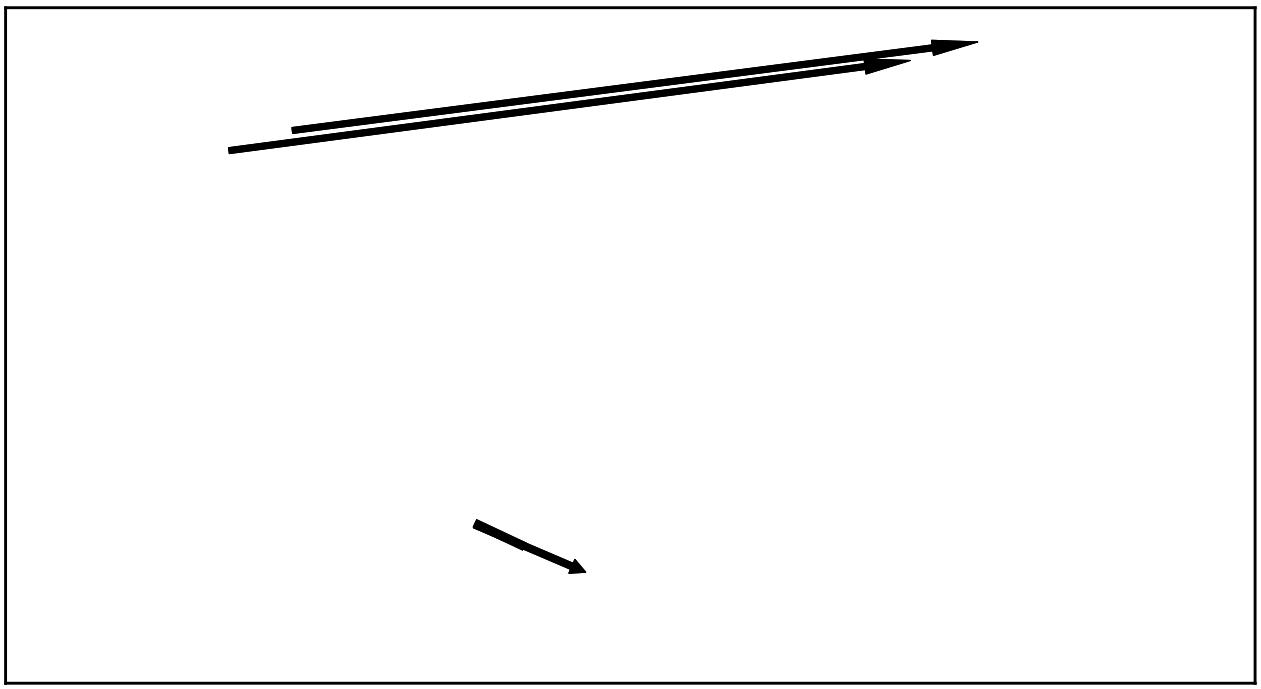
본 G.P.R 탐사는 고정1터널(대구)에 대하여 콘크리트 라이닝의 두께, 라이닝 배면의 공동 유무와 위치, 강지보공 설치현황 등을 조사하기 위하여 실시하였다. 탐사결과는 준공도서와 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며 이상반사파 구간의 두께 및 범위를 제시하여 필요시 보수, 보강 대책을 수립하는 등 터널의 유지관리에 필요한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1.3.1 조사구간 선정

고정1터널(대구) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 100m마다 횡방향 탐사를 10개소 실시하였다. 본 탐사에 적용된 안테나의 중심주파수는 약 1700㎒이다.

【표 1.3.1】탐사구간 및 연장

구 분		탐사구간	탐사연장	비고
종측선	천단부	S3 ~ S127	1,110m	
	어깨부	S3 ~ S127	1,110m	1차로측
횡측선	1차선 어깨부~ 2차선 어깨부		40m / 10개소	



【그림 1.3.1】터널 측선도

1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석

탐사결과 라이닝 콘크리트 두께분포는 지보패턴 T-2에서 180㎜~560㎜, T-3에서 100㎜~560㎜, T-4에서 210㎜~560㎜, T-5에서 290㎜~470㎜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 라이닝 두께 부족구간을 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 어깨부 종측선 S10~S12, S15, S20, S77, S82에서 나타났으며 지보패턴은 T-2, T-3, 연장율은 0.38%로 조사되었다.

【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

구분		라이닝 두께(㎜)			비고
		측정치	설계치	허용치	
종측선	천단부	200 ~ 560	300	200	일부구간 두께부족
	어깨부	100 ~ 550			
횡측선		220 ~ 410			

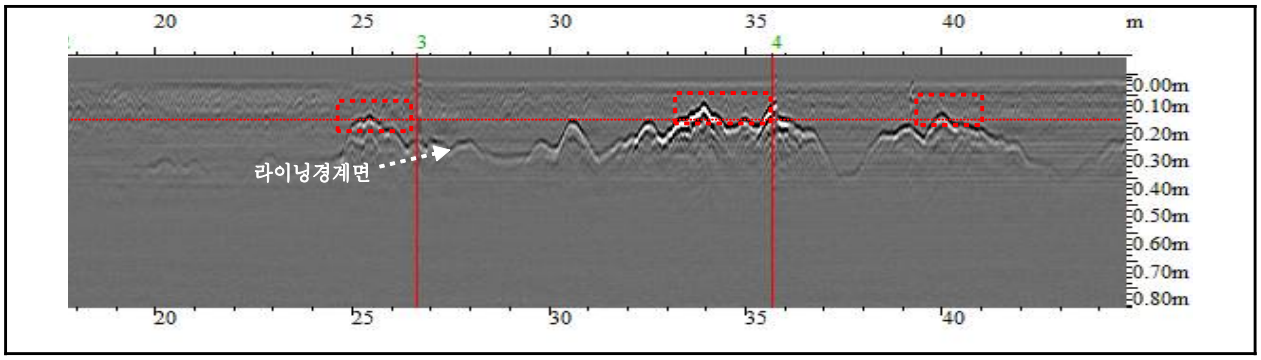
【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

지보패턴		라이닝 두께(㎜)			Span No.	비고
		측정치	설계치	허용치		
T-2	종측선(천단부)	200 ~ 560	300	200	S62~S106	일부구간 두께부족
	종측선(어깨부)	180 ~ 550				
	횡측선	220 ~ 390				
T-3	종측선(천단부)	200 ~ 560	300	200	S5~S46, S60~S61, S107~S111	일부구간 두께부족
	종측선(어깨부)	100 ~ 500				
	횡측선	220 ~ 410				
T-4	종측선(천단부)	210 ~ 560	300	200	S47~S51, S59 S112~S117	-
	종측선(어깨부)	260 ~ 550				
	횡측선	260 ~ 390				
T-5	종측선(천단부)	290 ~ 470	300	200	S52~S58, S118~S120	-
	종측선(어깨부)	320 ~ 440				
T-6	-	-	300	200	S4, S121	철근보강
개착구간	-	-	300	200	S3, S122~S127	철근보강

【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께부족 구간

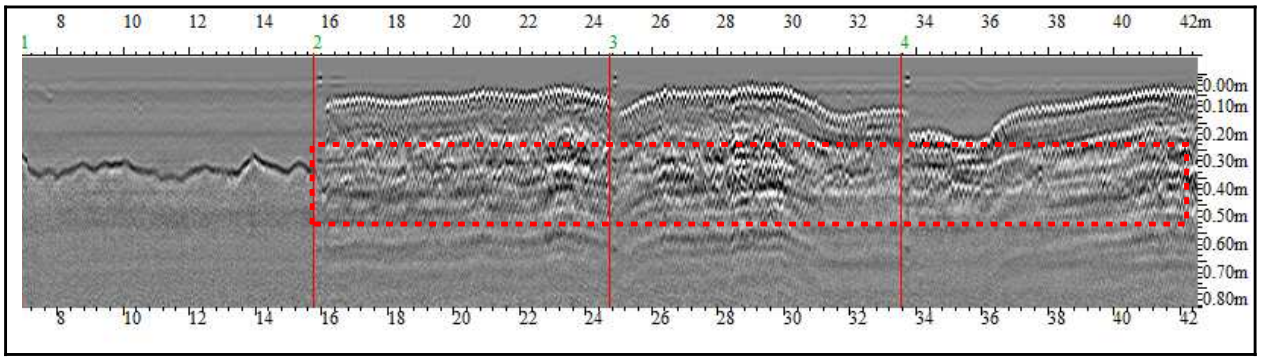
구 분	탐사연장	두께부족구간			지보패턴
		Span No.	조사연장 (m)	라이닝두께 (㎜)	
종측선(천단부)	1,110m	-	-	-	-
종측선(어깨부)	1,110m	S10	1.0	150~440	T-3
		S11	3.7	110~300	
		S12	1.7	150~370	
		S15	0.5	100~290	
		S20	0.5	170~400	
		S77	0.7	190~450	T-2
		S82	0.5	180~370	
횡측선	40m	-	-	-	-
합계	2,260m	8.6m			0.38%

다음 그림은 S10~S12 구간의 어깨부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 일부 구간의 콘크리트 라이닝이 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.



【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께부족구간(S10~S12)

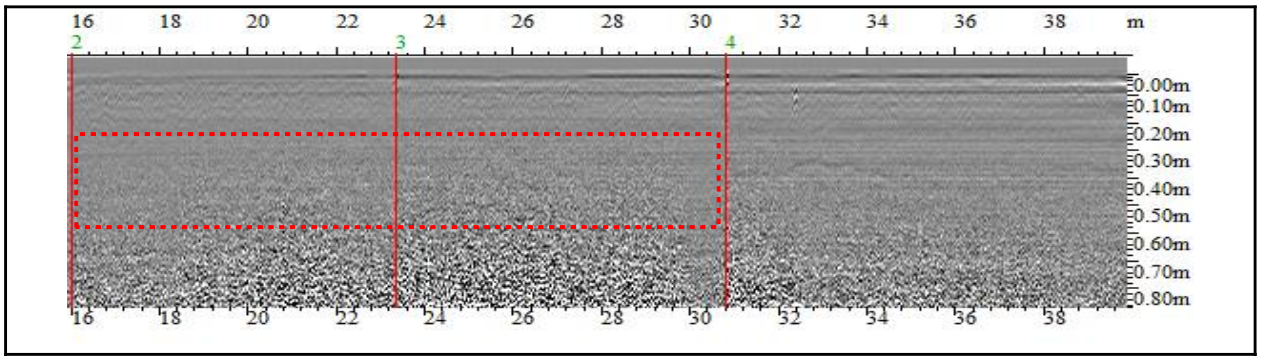
다음은 S118~S121 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 콘크리트 라이닝의 경계면이 철근의 간섭으로 인하여 나타나지 않는 것으로 탐사되었다.



【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S118~S121)

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 S69~S71 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(S69~S71)

다음【표 1.3.5】~【표 1.3.8】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
S3	-	철근배근	S4	-	철근배근
S5	-	철근배근	S6	-	철근배근
S7	280 ~ 440	무근	S8	490 ~ 520	무근
S9	340 ~ 500	무근	S10	360 ~ 400	무근
S11	240 ~ 460	무근	S12	230 ~ 400	무근
S13	230 ~ 350	무근	S14	200 ~ 300	무근
S15	200 ~ 340	무근	S16	250 ~ 390	무근
S17	-	무근	S18	-	무근
S19	-	무근	S20	400 ~ 490	무근
S21	350 ~ 450	무근	S22	240 ~ 480	무근
S23	~	무근	S24	-	무근
S25	320 ~ 410	무근	S26	370 ~ 450	무근
S27	~	무근	S28	390 ~ 480	무근
S29	350 ~ 530	무근	S30	-	철근배근
S31	380 ~ 450	무근	S32	380 ~ 420	무근
S33	370 ~ 490	무근	S34	400 ~ 530	무근
S35	460 ~ 550	무근	S36	210 ~ 450	무근
S37	240 ~ 480	무근	S38	350 ~ 450	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S39	370 ~ 450	무근	S40	-	무근
S41	280 ~ 410	무근	S42	420 ~ 530	무근
S43	310 ~ 490	무근	S44	470 ~ 560	무근
S45	-	무근	S46	-	철근배근
S47	-	무근	S48	-	무근
S49	-	무근	S50	-	무근
S51	-	무근	S52	-	무근
S53	-	무근	S54	-	무근
S55	-	무근	S56	410 ~ 460	무근
S57	400 ~ 470	무근	S58	320 ~ 440	무근
S59	350 ~ 460	무근	S60	320 ~ 420	무근
S61		철근배근	S62	-	철근배근
S63	250 ~ 350	무근	S64	-	철근배근
S65	-	철근배근	S66	-	철근배근
S67	-	무근	S68	-	무근
S69	360 ~ 480	무근	S70	280 ~ 420	무근
S71	340 ~ 440	무근	S72	220 ~ 390	무근
S73	300 ~ 430	무근	S74	300 ~ 460	무근
S75	340 ~ 470	무근	S76	280 ~ 440	무근
S77	230 ~ 370	무근	S78	-	철근배근
S79	360 ~ 450	무근	S80	310 ~ 510	무근
S81	280 ~ 450	무근	S82	310 ~ 440	무근
S83	290 ~ 380	무근	S84	320 ~ 470	무근
S85	280 ~ 450	무근	S86	-	철근배근
S87	270 ~ 460	무근	S88	210 ~ 480	무근
S89	240 ~ 440	무근	S90	310 ~ 440	무근
S91	270 ~ 420	무근	S92	270 ~ 440	무근
S93	310 ~ 510	무근	S94	-	철근배근
S95	270 ~ 510	무근	S96	320 ~ 510	무근
S97	350 ~ 480	무근	S98	300 ~ 490	무근
S99	200 ~ 500	무근	S100	350 ~ 550	무근
S101	300 ~ 460	무근	S102	340 ~ 500	무근
S103	270 ~ 450	무근	S104	280 ~ 380	무근
S105	210 ~ 440	무근	S106	310 ~ 560	무근
S107	220 ~ 380	무근	S108	300 ~ 450	무근
S109	350 ~ 450	무근	S110	210 ~ 440	무근
S111	330 ~ 470	무근	S112	270 ~ 420	무근
S113	240 ~ 370	무근	S114	280 ~ 440	무근
S115	300 ~ 430	무근	S116	340 ~ 470	무근
S117	280 ~ 420	무근	S118	290 ~ 390	무근
S119	-	철근배근	S120	-	철근배근
S121	-	철근배근	S122	-	철근배근
S123	-	철근배근	S124	-	철근배근
S125	-	철근배근	S126	-	철근배근
S127	-	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
S3	-	철근배근	S4	-	철근배근
S5	-	철근배근	S6	-	철근배근
S7	260 ~ 340	무근	S8	270 ~ 440	무근
S9	300 ~ 420	무근	S10	150 ~ 440	무근
S11	110 ~ 300	무근	S12	150 ~ 370	무근
S13	200 ~ 380	무근	S14	260 ~ 370	무근
S15	100 ~ 290	무근	S16	280 ~ 390	무근
S17	320 ~ 400	무근	S18	330 ~ 490	무근
S19	310 ~ 450	무근	S20	170 ~ 400	무근
S21	300 ~ 470	무근	S22	300 ~ 390	무근
S23	300 ~ 490	무근	S24	390 ~ 440	무근
S25	300 ~ 390	무근	S26	-	무근
S27	330 ~ 430	무근	S28	360 ~ 500	무근
S29	370 ~ 400	무근	S30	360 ~ 450	무근
S31	-	무근	S32	-	무근
S33	-	무근	S34	-	무근
S35	-	무근	S36	-	무근
S37	-	무근	S38	280 ~ 390	무근
S39	-	무근	S40	240 ~ 390	무근
S41	200 ~ 430	무근	S42	320 ~ 430	무근
S43	-	무근	S44	-	무근
S45	-	무근	S46	-	철근배근
S47	-	무근	S48	-	무근
S49	-	무근	S50	-	무근
S51	-	무근	S52	-	무근
S53	-	무근	S54	-	무근
S55	-	무근	S56	-	무근
S57	-	무근	S58	-	무근
S59	-	무근	S60	-	무근
S61	-	무근	S62	-	철근배근
S63	-	무근	S64	-	무근
S65	-	무근	S66	-	무근
S67	-	무근	S68	-	무근
S69	-	무근	S70	-	무근
S71	330 ~ 370	무근	S72	310 ~ 480	무근
S73	280 ~ 400	무근	S74	370 ~ 410	무근
S75	340 ~ 470	무근	S76	200 ~ 380	무근
S77	190 ~ 450	무근	S78		철근배근
S79	210 ~ 450	무근	S80	280 ~ 450	무근
S81	-	무근	S82	180 ~ 370	무근
S83	230 ~ 400	무근	S84	270 ~ 480	무근
S85	250 ~ 450	무근	S86	270 ~ 410	무근
S87	300 ~ 510	무근	S88	320 ~ 470	무근
S89	320 ~ 490	무근	S90	290 ~ 480	무근

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S91	-	무근	S92	240 ~ 440	무근
S93	240 ~ 430	무근	S94	-	철근배근
S95	320 ~ 410	무근	S96	340 ~ 420	무근
S97	310 ~ 490	무근	S98	410 ~ 460	무근
S99	390 ~ 460	무근	S100	-	무근
S101	-	무근	S102	410 ~ 550	무근
S103	280 ~ 500	무근	S104	-	무근
S105	270 ~ 410	무근	S106	260 ~ 440	무근
S107	-	무근	S108	320 ~ 460	무근
S109	330 ~ 470	무근	S110	240 ~ 420	무근
S111	330 ~ 470	무근	S112	320 ~ 550	무근
S113	330 ~ 440	무근	S114	360 ~ 450	무근
S115	310 ~ 450	무근	S116	280 ~ 450	무근
S117	260 ~ 470	무근	S118	320 ~ 440	무근
S119	-	철근배근	S120	-	철근배근
S121	-	철근배근	S122	-	철근배근
S123	-	철근배근	S124	-	철근배근
S125	-	철근배근	S126	-	철근배근
S127	-	철근배근		-	

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

【표 1.3.7】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선)

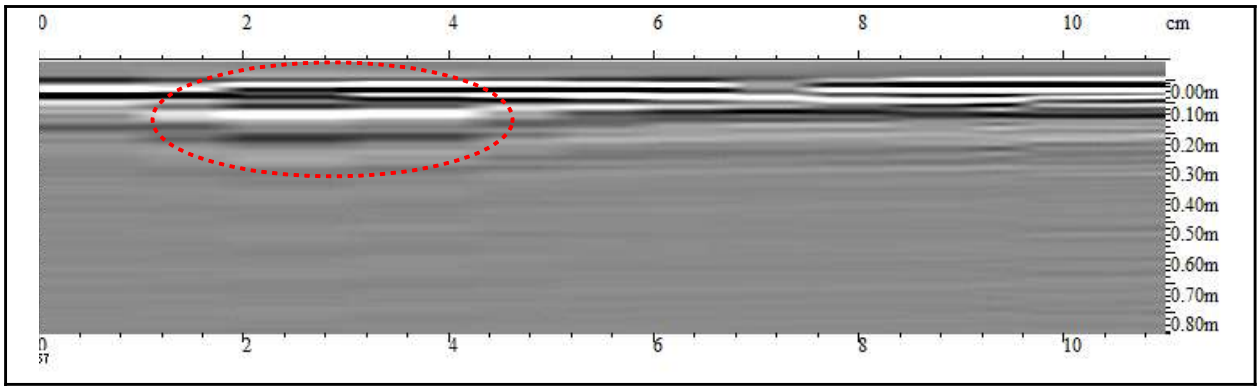
Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부	Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부
S3(24.0m)	-	철근배근	S20(170.0m)	250 ~ 410	무근
S31(271.0m)	220 ~ 380	무근	S44(385.0m)	220 ~ 310	무근
S68(605.0m)	220 ~ 340	무근	S87(774.0m)	240 ~ 370	무근
S104(925.0m)	220 ~ 390	무근	S116(1030.0m)	260 ~ 390	무근
S121(1080.0m)	-	철근배근	S126(1115.0m)	-	철근배근

※ 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.

【그림 1.3.5】는 S4구간 천단부의 시점연장 30.0m부근에 대한 횡측선 탐사결과이며 이상반사파가 40㎜ 두께, 0.1m 연장으로 탐지되었으며 외관조사 결과 공동으로 확인되었다. 해당 위치는 외관조사망도에 수록하였다.



【그림 1.3.5】이상반사파 탐사결과(S4)

【표 1.3.8】이상반사파 탐사구간

구 분	탐사연장	이상반사파 탐사구간		지보패턴
		Span No.	조사연장	
종측선(천단부)	1,110m	-	-	
종측선(어깨부)	1,110m	-	-	
횡측선	40m	S4	0.1m	T-6
합계	2,260m	0.1m		0.004%

1.3.4 강지보공

준공설계도상 강지보공은 지보패턴 T-4, T-5, T-6구간에 시공되어 있으며, 아래 표에서와 같이 강지보공이 설치된 구간은 연장대비 18.74%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	S47~S51	45	3.94	1.5	-	
	S59	9	0.79	1.5	-	
	S112~S117	54	4.73	1.5	1.50	
T-5	S52~S58	62	5.43	1.2	-	
	S118~S120	27	2.36	1.2	1.00~1.16	
T-6	S4	8	0.70	0.6	-	
	S121	9	0.79	0.6	-	
합계		214	18.74	-		

1.3.5 G.P.R 탐사결과

본 터널에 대한 G.P.R 탐사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 콘크리트 라이닝 두께는 탐사대비연장율 99.62%로 양호한 것으로 조사되었다. 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 200㎜~560㎜, 어깨부 종측선에서 100㎜~550㎜, 횡측선에서 220㎜~410㎜로 나타났으며 어깨부 종측선 일부 구간에서 설계두께를 만족하지 못하는 것으로 나타나 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

2) 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께부족구간은 어깨부 종측선 S10~S12, S15, S20, S77, S82에서 나타났으며 연장율은 0.38%로 조사되었다.

3) S4구간 천단부의 시점연장 30.0m부근에서 이상반사파가 탐사되었으며 외관조사에서 공동으로 확인되었다. 해당 손상은 외관조사편에서 언급하였고 외관조사망도에 수록하였다.

4) 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.62%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 중앙천단부보다 어깨부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 일부 발생한 것으로 나타났으며 시공 허용치를 벗어난 것으로 측정되어 손상의 발생유무를 정기적으로 검토하여 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

제 2장 시설물의 상태평가

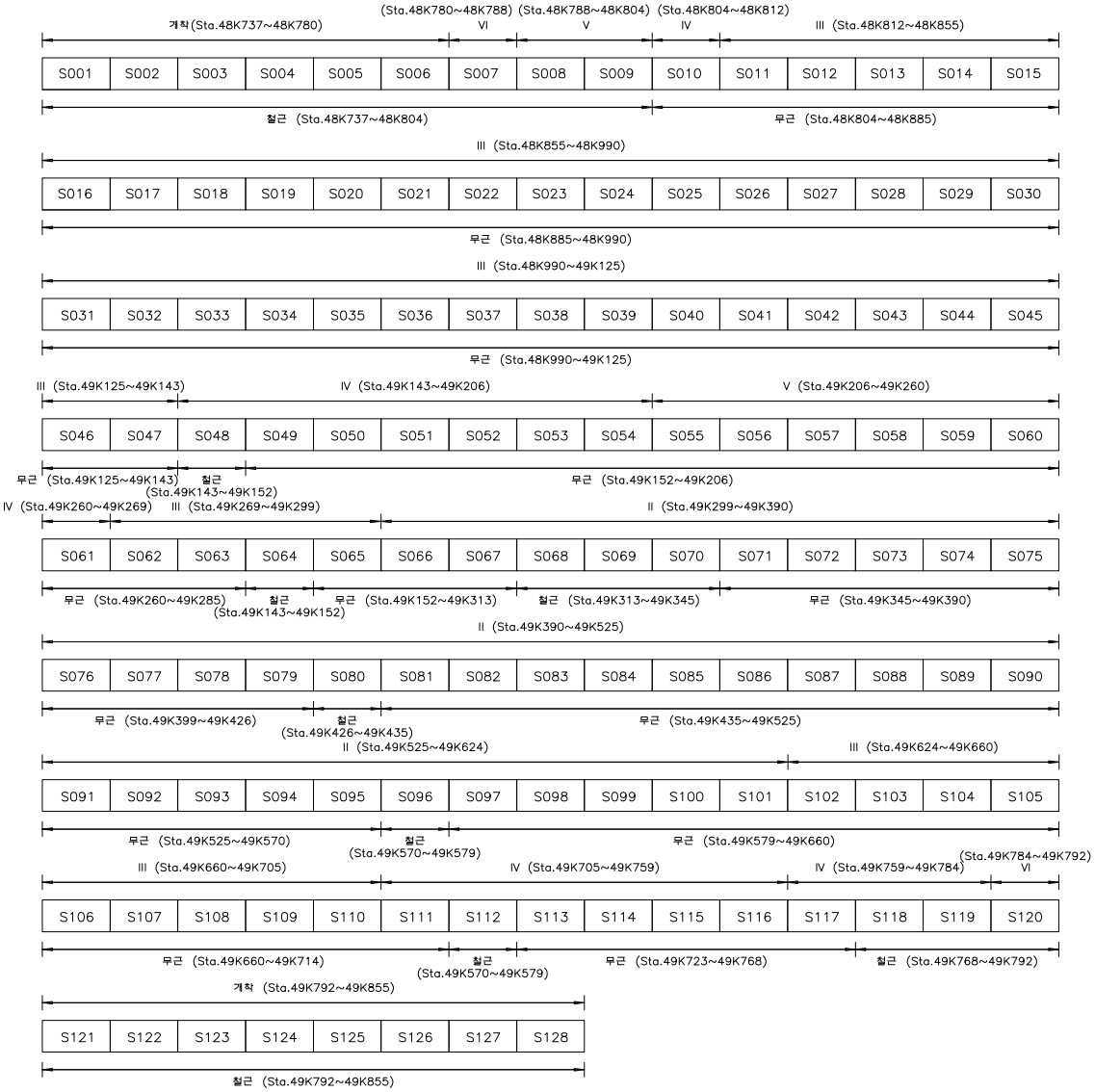
2.1 구간분할

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. 고정1터널(대구)는 NATM 형식의 터널로서 129Span으로 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)

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	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S4	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S5	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S6	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S7	무근	0.5~0.7	c	-	a	-	-	a	
S8	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S9	무근	0.5~0.7	c	-	a	-	-	a	
S10	무근	0.1~0.3	c	-	a	1/6미만	0.01	c	
S11	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S12	무근	-	a	-	a	-	-	a	
S13	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S14	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S15	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S16	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S17	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S18	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S19	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S20	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S21	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S22	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S23	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S24	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S25	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S26	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S27	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S28	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S29	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S30	철근	0.3~0.5	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	
S31	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S32	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S33	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S34	무근	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S35	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S36	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S37	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S38	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S39	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S40	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S41	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S42	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S43	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S44	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S45	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S46	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S47	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S48	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S49	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S50	무근	0.1~1.0	d	-	a	-	-	a	
S51	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S52	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S53	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S54	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S55	무근	0.4	c	-	a	-	-	a	
S56	무근	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S57	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S58	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S59	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S60	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S61	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S62	철근	0.3	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	철근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S65	철근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S66	철근	0.1~0.5	d	-	a	-	-	a	
S67	무근	0.1~1.0	d	-	a	-	-	a	
S68	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S69	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S70	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S71	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S72	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S73	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S74	무근	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S75	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S76	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S77	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S78	철근	0.1~0.5	d	-	a	-	-	a	
S79	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S80	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S81	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S82	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S83	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S84	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S85	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S86	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S87	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S88	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S89	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S90	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S91	무근	0.1~0.7	c	-	a	-	-	a	
S92	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S93	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S94	철근	0.3~0.5	d	-	a	-	-	a	
S95	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S96	무근	0.1~0.5	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	
S97	무근	0.1~0.7	c	-	a	-	-	a	
S98	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S99	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S100	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S101	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S102	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S103	무근	0.1~0.2	b	-	a	1/6미만	0.01	c	
S104	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S105	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S106	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S107	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S108	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S109	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S110	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S111	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S112	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S113	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S114	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S115	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S116	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S117	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S118	무근	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S119	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S120	철근	0.1~0.5	d	-	a	-	-	a	
S121	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S122	개착	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S123	개착	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S124	개착	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S125	개착	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S126	개착	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S127	개착	0.1~0.4	c	-	a	-	-	a	
S128	개착	-	a	-	a	-	-	a	
S129	개착	-	a	-	a	-	-	a	
결과		c (6.086)		a (0.000)		c (0.016)			

【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	92.2	a	0.635	b	
S4	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	19.4	e	27.5	b	0.371	b	
S5	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	0.1	b	26.5	b	0.380	b	
S6	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	8.5	c	-	a	-	-	-	-	
S7	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S8	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S9	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S10	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S11	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S16	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S17	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S18	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S19	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S20	무근	156.8	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S25	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S26	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S27	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S28	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S29	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S30	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	0.1	b	75.3	a	0.409	b	

【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	
S31	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S32	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S33	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S34	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S35	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S40	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S46	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S47	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S48	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S49	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S50	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S51	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S52	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S53	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S54	무근	156.8	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S58	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S59	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S60	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S61	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S62	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	4.3	d	-	-	-	-	
S63	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	
S64	철근	224.0	-	a	-	a	-	a	-	a	0.3	b	-	-	-	-	
S65	철근	268.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	58.5	a	0.337	b	
S66	철근	224.0	-	a	-	a	-	a	-	a	0.1	b	-	-	-	-	
S67	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S68	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S69	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S70	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S71	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S72	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S73	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S74	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S75	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S76	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S77	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S78	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	67.8	a	0.396	b	
S79	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S80	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S81	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S82	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S83	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S84	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S85	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S86	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S87	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S88	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S89	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S90	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S91	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S92	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S93	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S94	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	17.1	e	-	-	-	-	
S95	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S96	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	
S97	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S98	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S99	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S100	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S101	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S102	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S103	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S104	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S105	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S112	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S113	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S114	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S119	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S120	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S121	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S122	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S123	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S124	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S125	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S126	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	86.1	a	0.402	b	
S127	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S128	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S129	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
결과			a (0.000)		c (0.370)		a (0.000)		c (0.007)		b (0.112)		b (0.015)		b (0.052)		

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	
S1	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S2	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	
S1	철근	73.5	-	a	-	a	-	a	-	a	
S2	철근	73.5	-	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	5.04	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.04	0.60	0.08	0.28	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.62	0.177
무근 콘크리트	6.33	0.00	0.02	0.00	0.44	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	8.28	0.244

【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
고정1터널 (대구)	NATM	철근	214.0	0.187	B	0177	0.033
		무근	928.0	0.813	B	0.244	0.098
합계			1,142.0	1.000	-	0.421	0.231

결함지수	0.231
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)		
고정1터널 (대구)	NATM	B	0.231	1.00	0.231

결함지수	0.231
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.231}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = 0.231$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.231) < 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 0.150 ⇨ 0.231으로 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	b	0.170	b	0.177	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.090	b	0.244	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		B	0.150	B	0.231	

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 고정1터널에 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-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

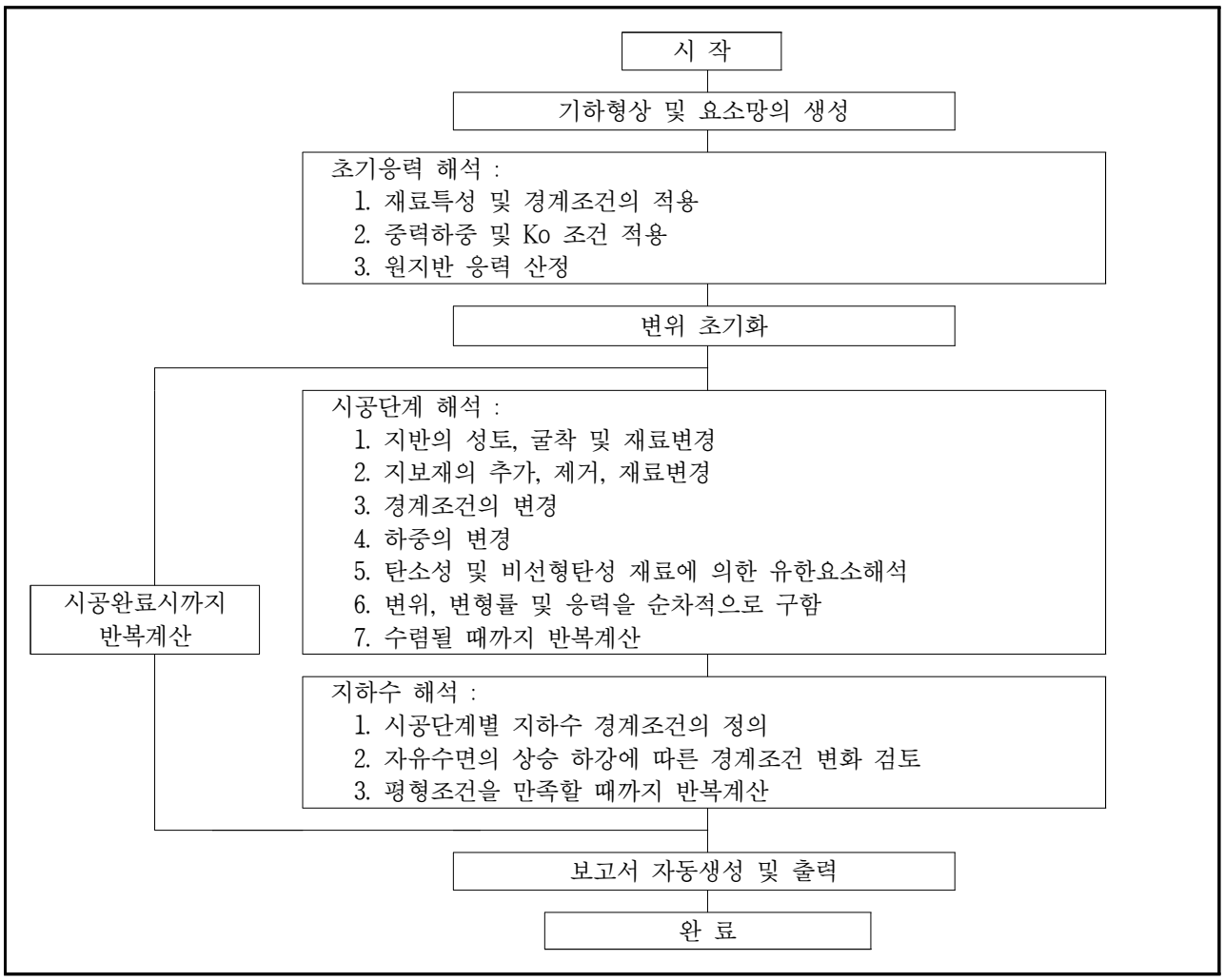
가. MIDAS/GTS

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

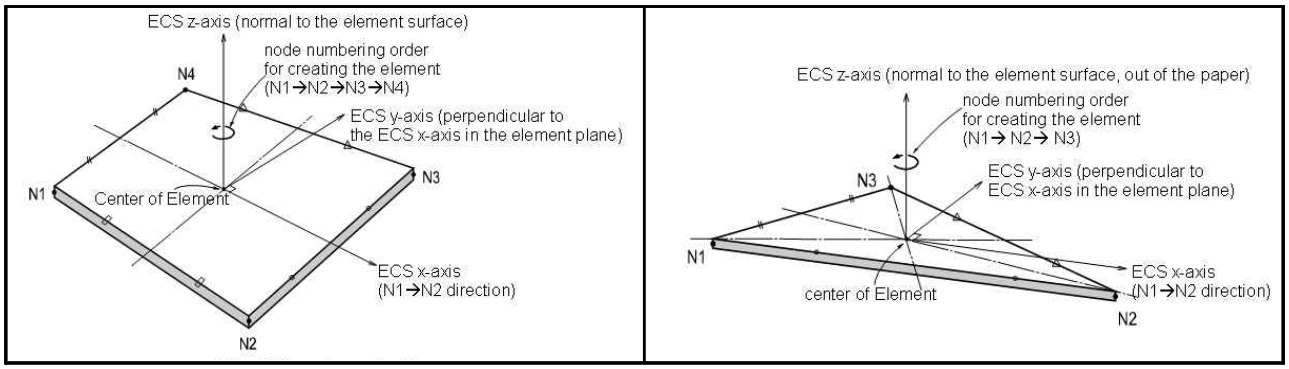
지보재는 터널과 같은 지중내 굴착면에서의 붕괴를 방지하고 그 기능과 형상을 유지할 목적으로 실시하고 있으며 주지보재로는 Shotcrete, Rock Bolt, Steel Rib 등이 이용되고 있다. 본 프로그램에서는 지보재는 다음과 같은 요소로 입력되어 해석된다.

- 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.

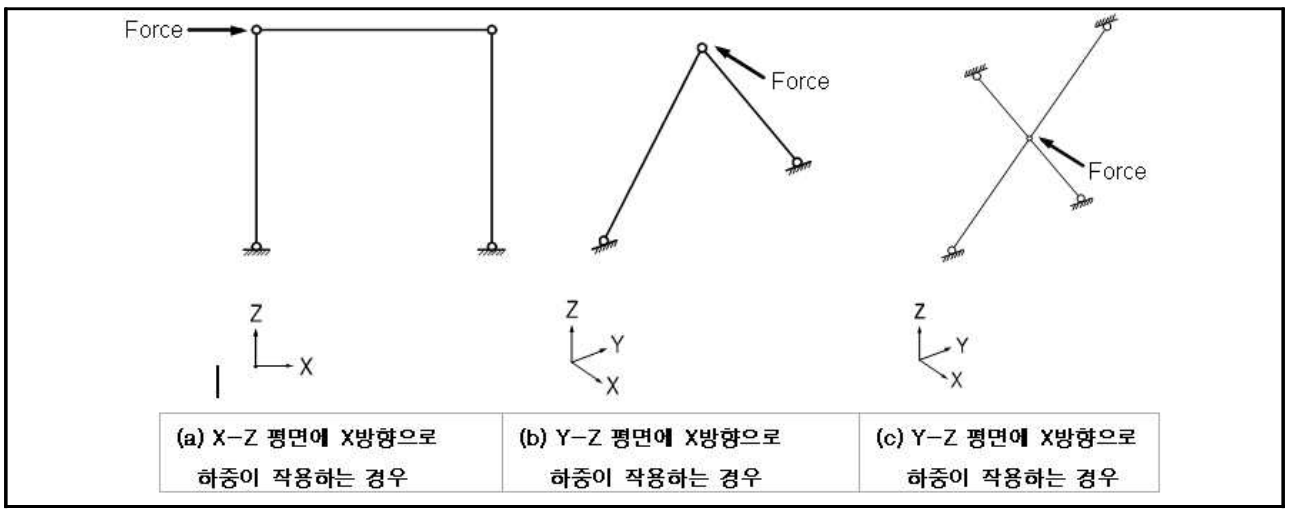


【그림 3.2.2】요소좌표계

- 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】고정1터널 설계 적용 지반정수

구분	단위중량 (t/m^3)	내부 마찰각(°)	점착력 (t/m^2)	탄성계수 (t/m^2)	포아송비	측압계수	인장강도 (t/m^2)	비고
토사	1.9	25	1	2,000	0.35	0.54	2	-
풍화암	2.1	30	2	20,000	0.30	0.43	3	-
연암	2.3	35	5	200,000	0.25	0.33	5	-
경암	2.6	40	35	1,500,000	0.25	1.25	40	N8W

다. 적용 지반정수

본 터널의 검토단면의 지층구성은 상부로부터 토사-풍화암-연암-경암 순으로 구성되어 있으며, 안전성 검토를 위한 지반정수 설계당시 참고문헌 및 시추조사 등을 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.

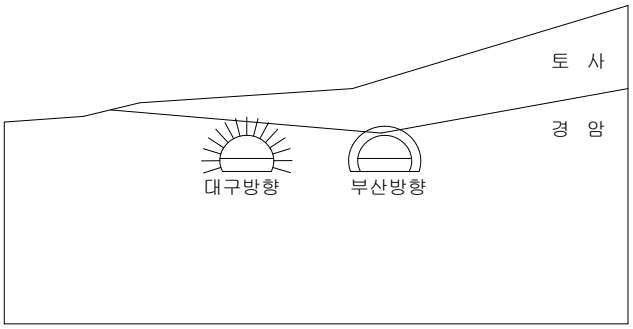
【표 3.2.9】 하중분배율

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

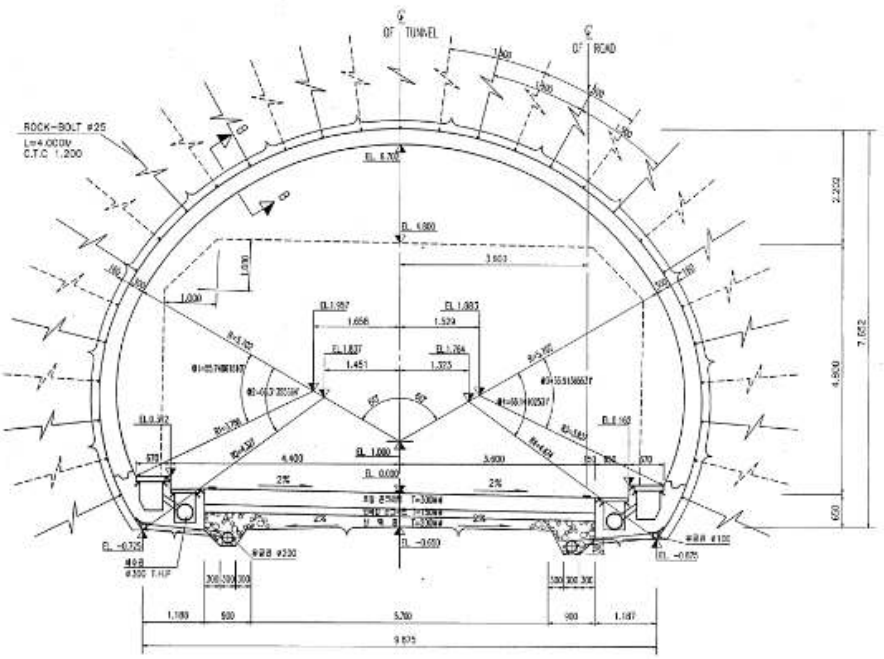
3.3 해석결과 및 분석

3.3.1 고정1터널 NATM 시점부(STA.48k+788)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 부산방향 NATM 종점부로 STA..48+788에 위치하고 있으며, 부산방향 터널의 상부에 평균 10m 내외의 토사층이 위치하여 Pre-grouting으로 보강 검토하였다. 터널의 지보형식은 Type-Ⅵ 이며, 2분할 굴착으로 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 / 2.0	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/m³)	변형계수 (kN/m²)	점착력 (kN/m²)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	20,000	10	25	0.350
풍화암	21	200,000	20	30	0.300
연암	23	2,000,000	50	35	0.250
경암	26	15,000,000	350	40	0.250

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m³)	탄성계수(kN/m²)	압축강도(kN/m²)
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 강관보강	7	-	-	-
부산방향 상반 굴착	8	40 %		
	9		70 %	
	10			100%
부산방향 하반 굴착	11	40 %		
	12		70 %	
	13			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.169	-0.016	0.016	0.002	0.003	0.002
2	-0.305	-0.030	0.028	0.003	0.005	0.003
3	-0.420	-0.041	0.039	0.005	0.007	0.004
4	-0.420	-0.036	0.033	0.007	0.007	0.004
5	-0.421	-0.033	0.028	0.008	0.006	0.004
6	-0.419	-0.029	0.024	0.009	0.006	0.004
7	-0.419	-0.029	0.024	0.008	0.006	0.004
8	-0.414	-0.032	0.014	-0.740	-0.034	0.047
9	-0.411	-0.036	0.000	-1.374	-0.074	0.088
10	-0.407	-0.041	-0.017	-1.925	-0.116	0.130
11	-0.404	-0.043	-0.023	-1.940	-0.122	0.131
12	-0.401	-0.044	-0.027	-1.951	-0.126	0.131
13	-0.399	-0.046	-0.031	-1.961	-0.130	0.132
최대값	-0.421	-0.046	0.039	-1.961	-0.130	0.132

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.320	1.155
록볼트 축력(kN)	0.469	-
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 -1.961㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.132㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.155MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 0.469kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.156	0.000	-0.003	0.003	-0.002	-0.002
2	-0.283	-0.002	-0.004	0.004	-0.004	-0.003
3	-0.388	-0.002	-0.006	0.006	-0.006	-0.004
4	-0.379	0.014	-0.027	0.008	-0.012	-0.009
5	-0.372	0.026	-0.042	0.010	-0.017	-0.013
6	-0.364	0.038	-0.057	0.011	-0.022	-0.016
7	-0.364	0.038	-0.057	0.010	-0.022	-0.016
8	-0.359	0.035	-0.067	-0.745	-0.057	0.021
9	-0.355	0.031	-0.081	-1.384	-0.093	0.058
10	-0.352	0.026	-0.097	-1.939	-0.130	0.095
11	-0.349	0.026	-0.098	-1.944	-0.128	0.085
12	-0.347	0.026	-0.099	-1.949	-0.127	0.077
13	-0.345	0.025	-0.101	-1.952	-0.126	0.070
최대값	**-0.388**	**0.038**	**-0.101**	**-1.952**	**-0.130**	**0.095**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.391	1.294
록볼트 축력(kN)	1.414	-
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 -1.952㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 -0.130㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.294MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 1.414kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

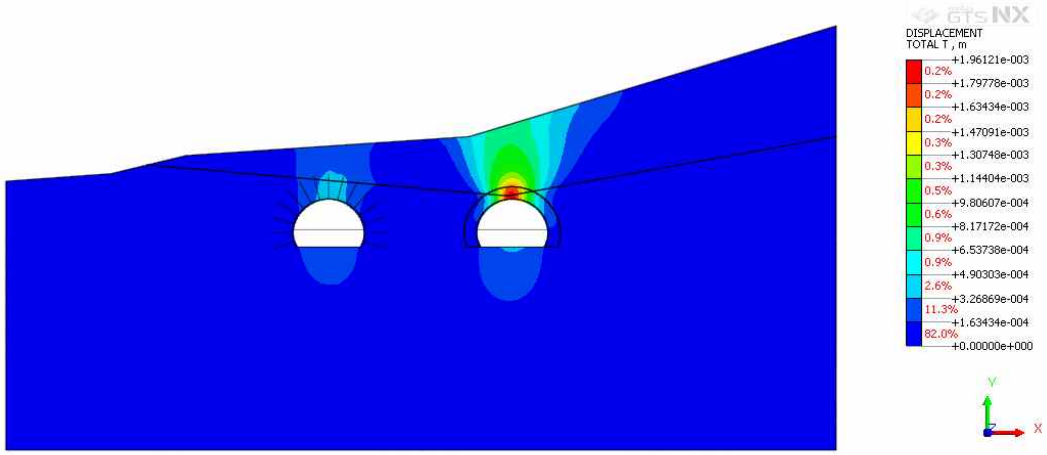
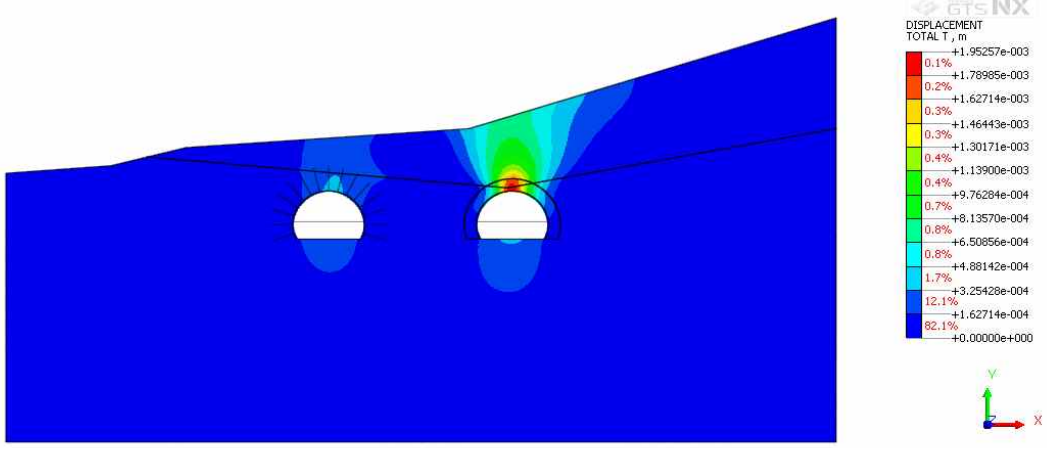
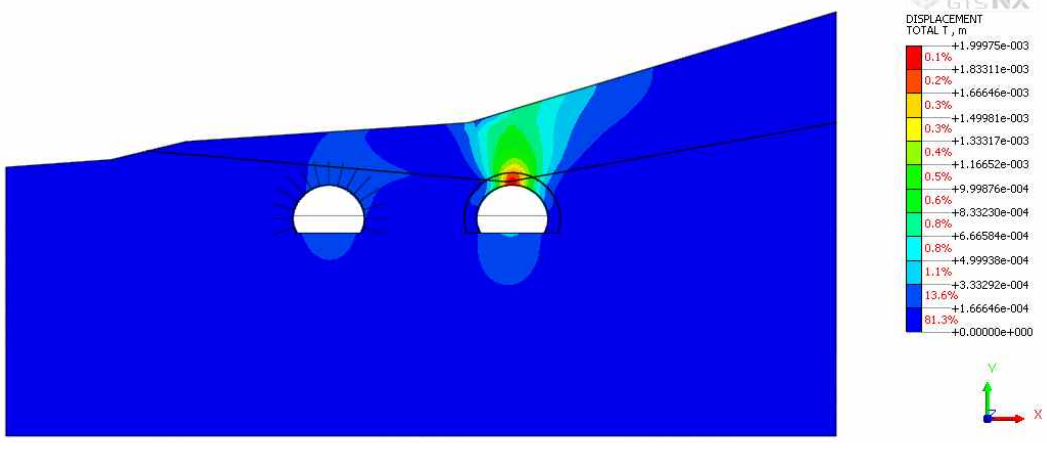
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.144	0.015	-0.020	0.004	-0.007	-0.005
2	-0.262	0.024	-0.033	0.006	-0.012	-0.008
3	-0.359	0.035	-0.048	0.008	-0.017	-0.012
4	-0.340	0.062	-0.082	0.011	-0.030	-0.021
5	-0.327	0.082	-0.107	0.012	-0.040	-0.028
6	-0.311	0.102	-0.132	0.014	-0.049	-0.035
7	-0.311	0.102	-0.132	0.013	-0.049	-0.035
8	-0.306	0.098	-0.144	-0.772	-0.083	0.001
9	-0.303	0.094	-0.159	-1.417	-0.117	0.037
10	-0.300	0.089	-0.177	-1.975	-0.152	0.072
11	-0.298	0.089	-0.175	-1.972	-0.145	0.053
12	-0.296	0.090	-0.173	-1.971	-0.139	0.039
13	-0.295	0.091	-0.172	-1.967	-0.133	0.025
최대값	**-0.359**	**0.102**	**-0.177**	**-1.975**	**-0.152**	**0.072**

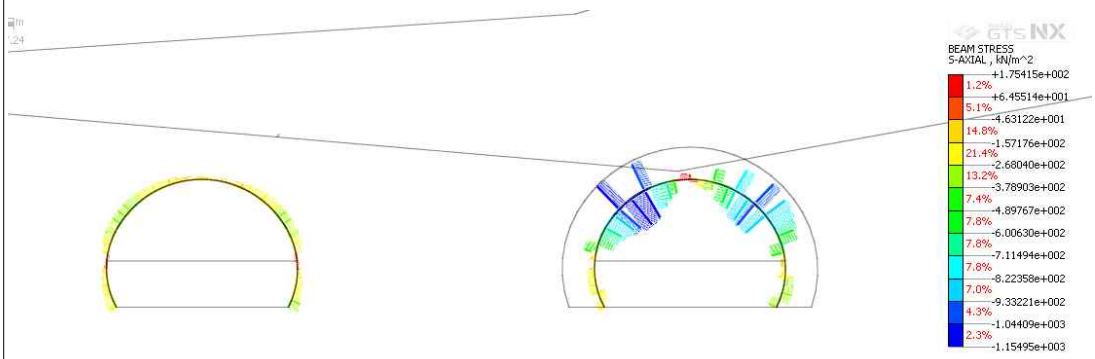
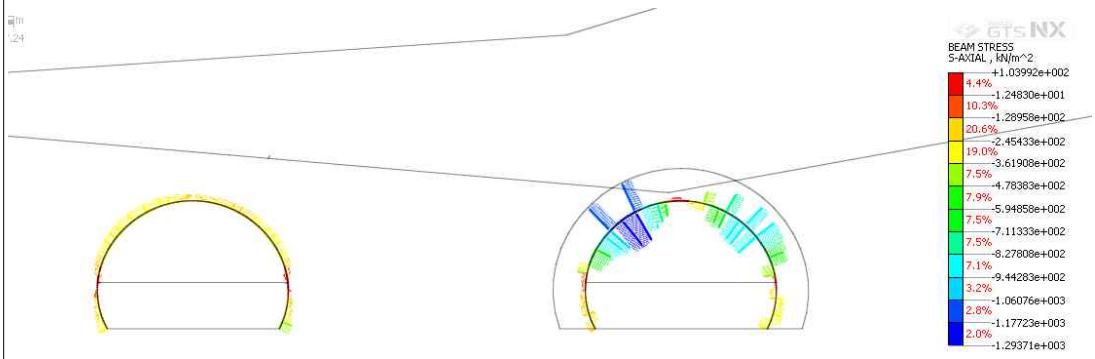
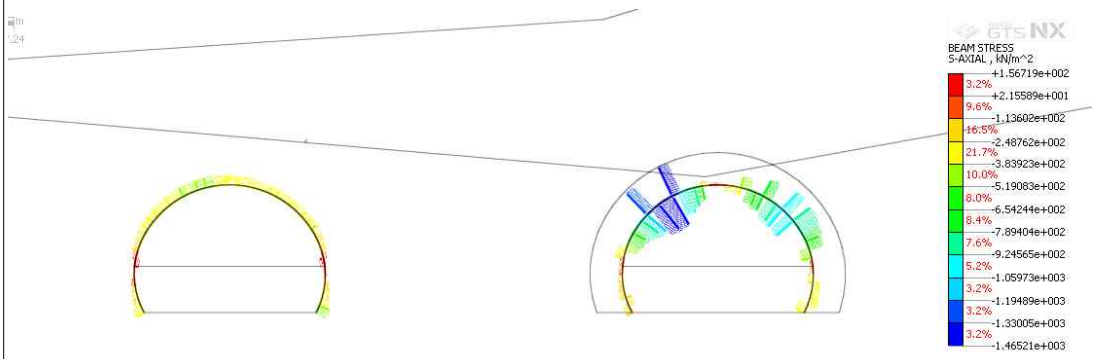
② 지보재 응력

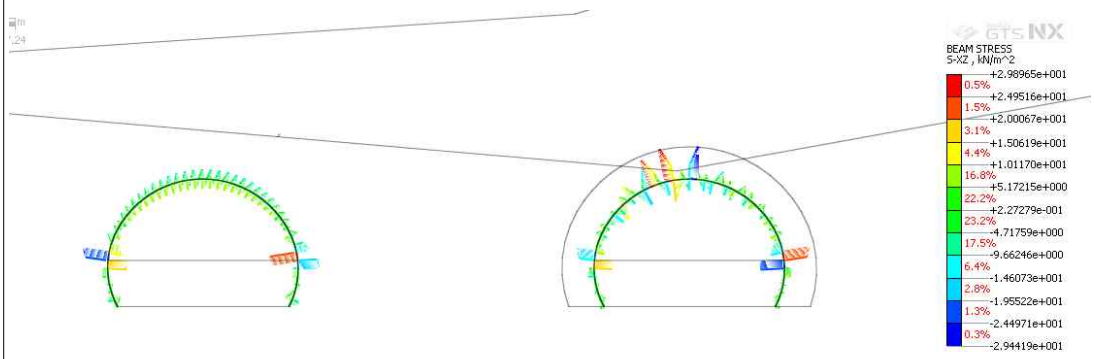
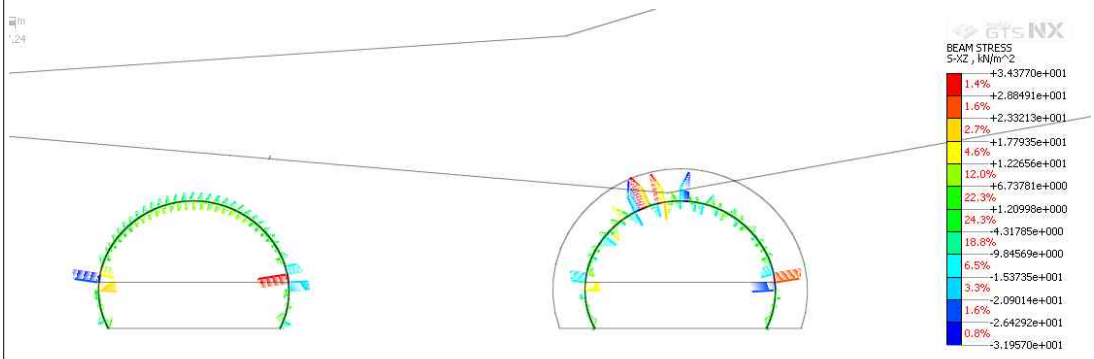
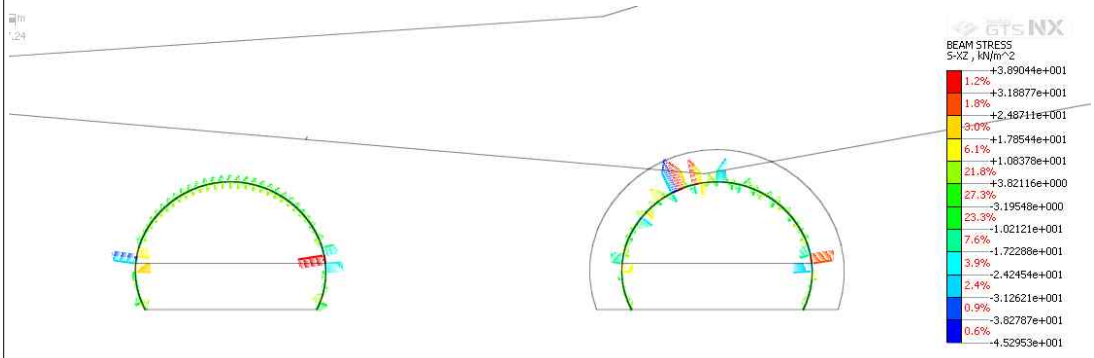
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.466	1.465
록볼트 축력(kN)	1.704	-
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

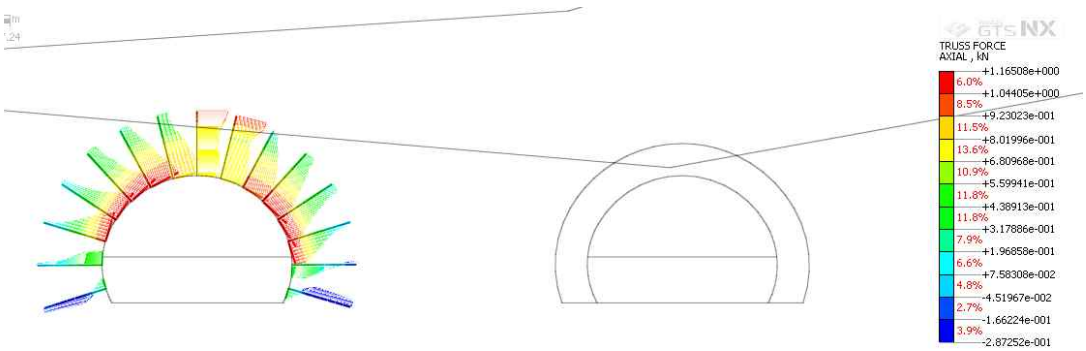
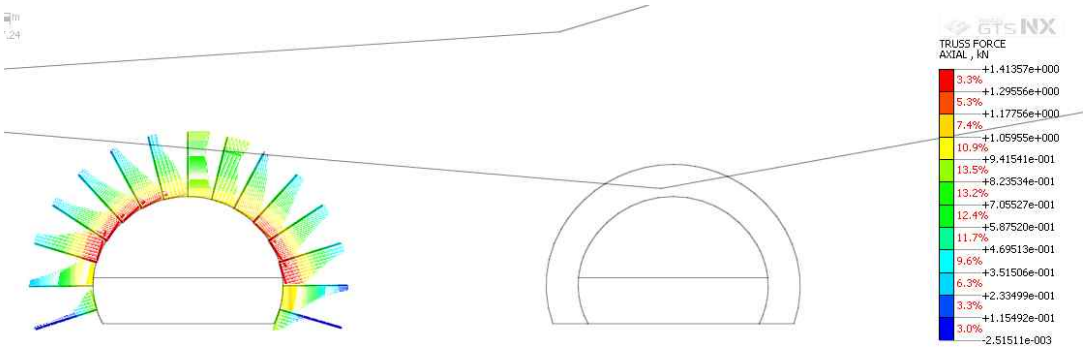
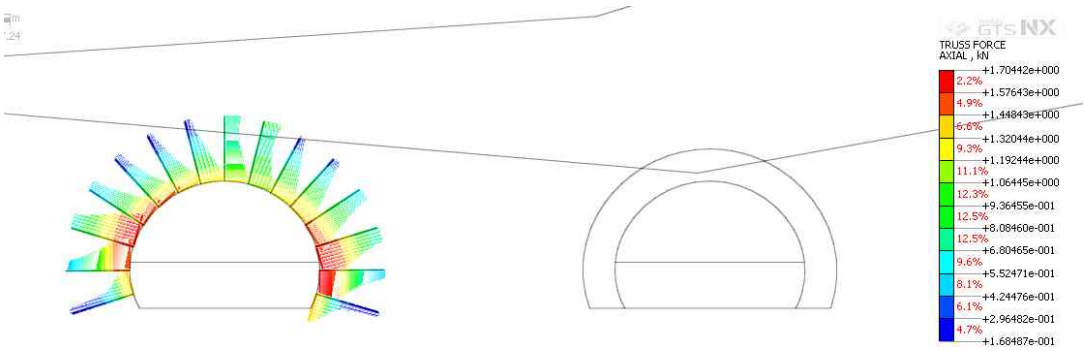
③ 해석결과

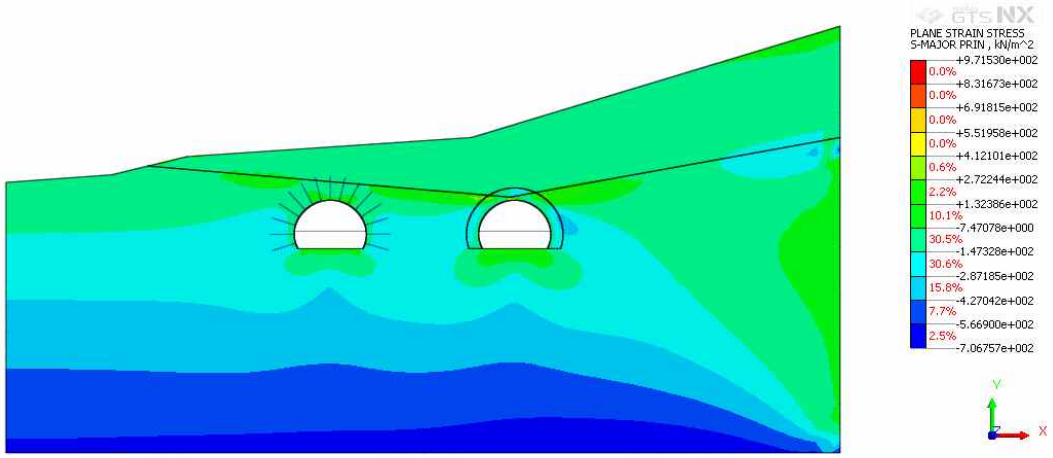
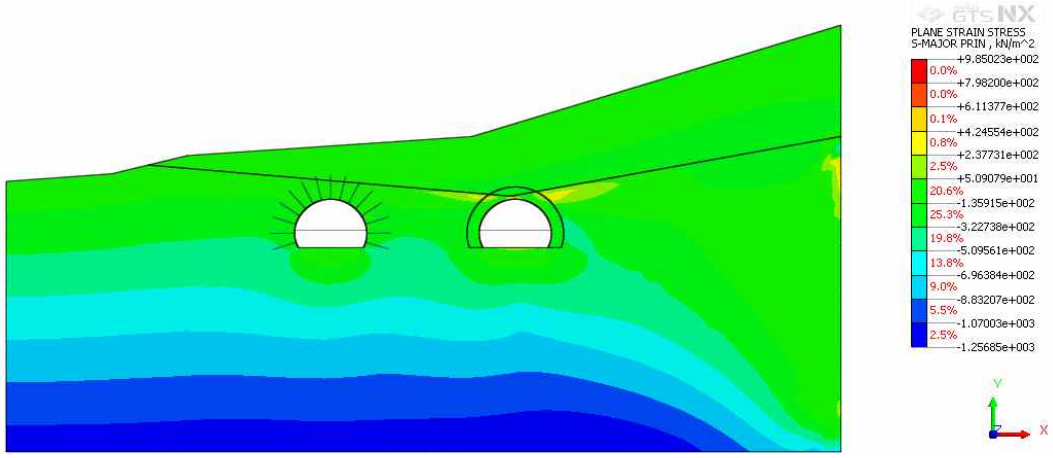
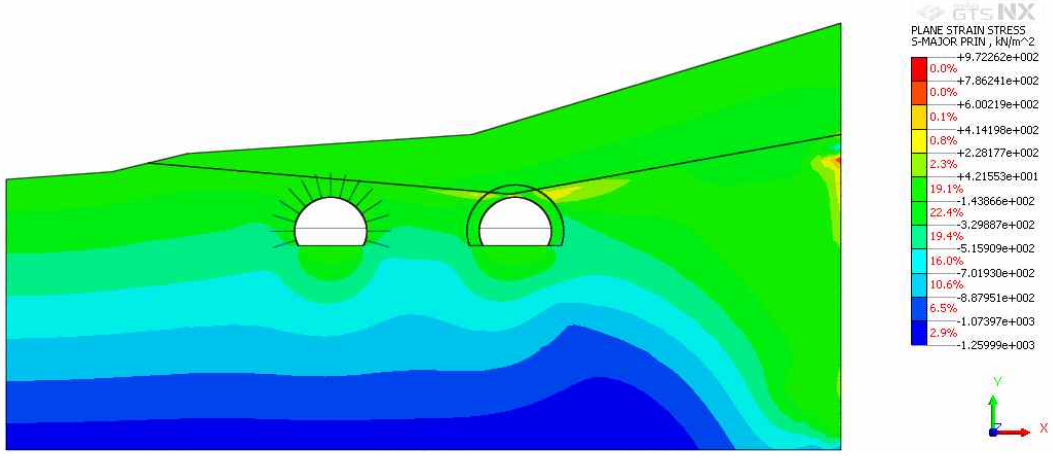
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -1.975㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 -0.177㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.465MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 1.704kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

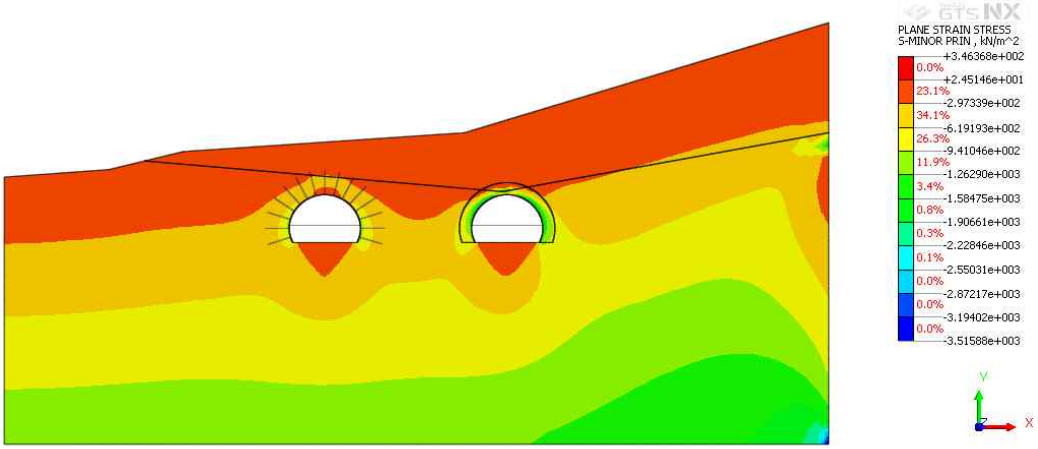
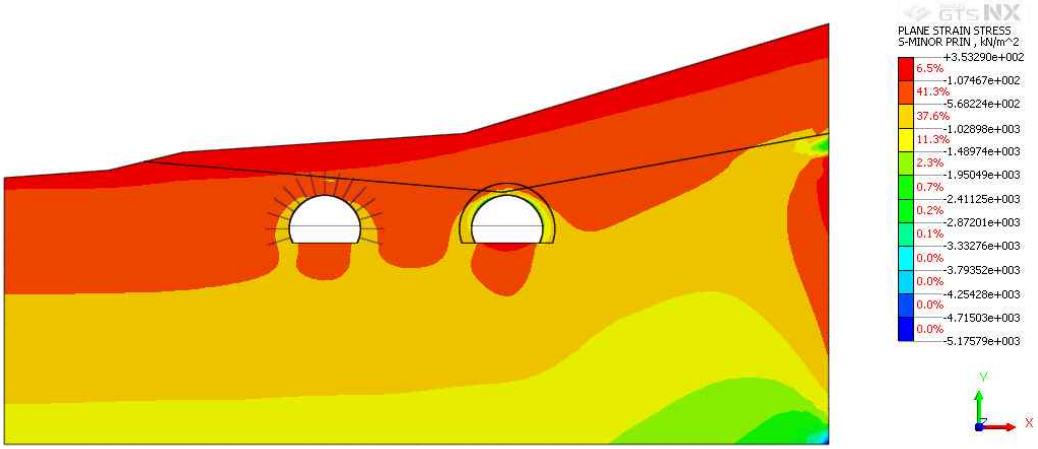
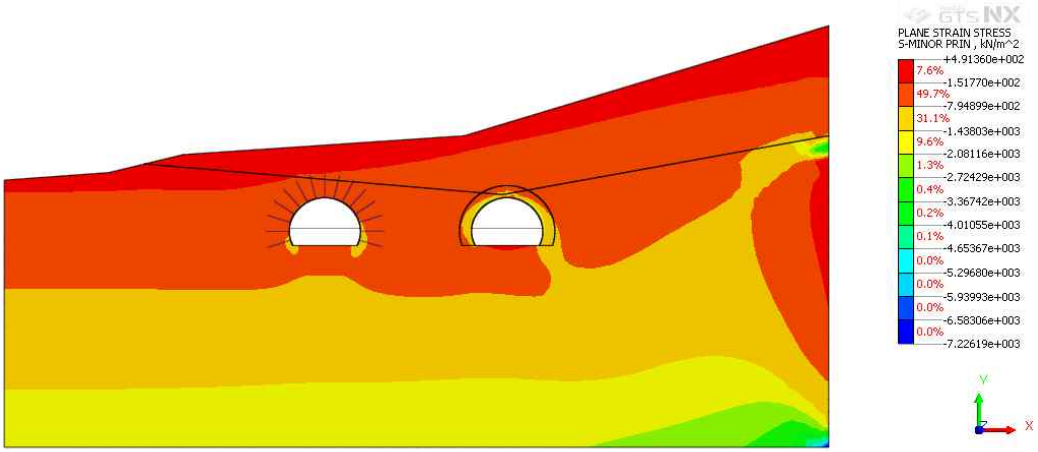
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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	

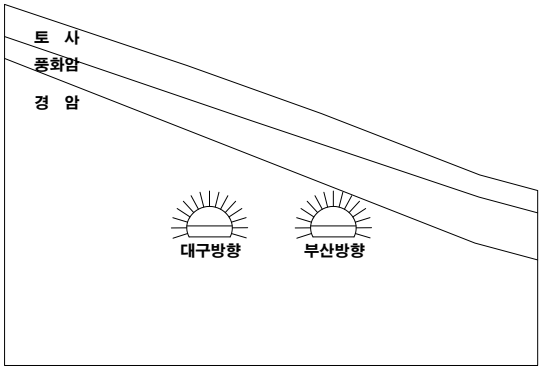
구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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

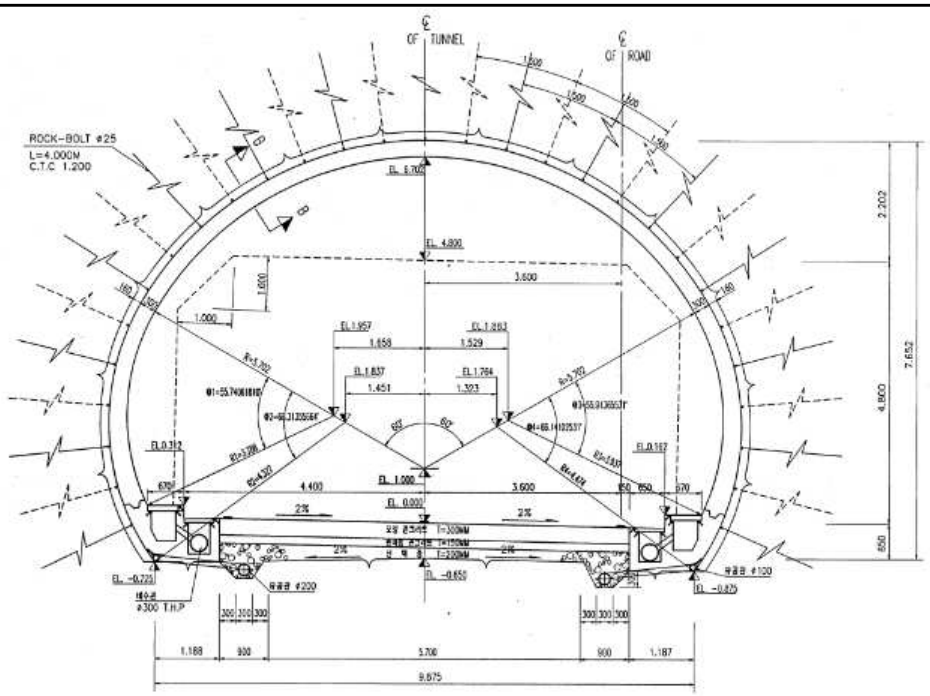
구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.3.2 고정1터널 NATM 종점부(STA.49k+801)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 부산방향 Sta.49+801에 위치하고 있으며, 부산방향 터널방향으로 35%이상의 경사를 이루고 있다. 대구방향 터널은 상부에 8m가량의 토사층과 4m가량의 풍화암층이 위치하고 있으며, 부산방향 터널은 상부에 7m가량의 토사층과 10m가량의 풍화암층이 위치하고 있다. 터널의 지보형식은 Type-Ⅵ이며, 2분할 굴착으로 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 / 2.0	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	20,000	10	25	0.350
풍화암	21	200,000	20	30	0.300
연암	23	2,000,000	50	35	0.250
경암	26	15,000,000	350	40	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	-0.264	-0.023	0.017	-0.003	0.007	0.003
2	-0.466	-0.040	0.030	-0.005	0.013	0.005
3	-0.661	-0.027	0.012	-0.007	0.020	0.008
4	-0.670	-0.003	-0.004	-0.007	0.018	0.006
5	-0.678	0.016	-0.015	-0.008	0.017	0.005
6	-0.686	0.035	-0.028	-0.008	0.016	0.004
7	-0.687	0.039	-0.035	-0.303	-0.004	0.021
8	-0.687	0.043	-0.040	-0.530	-0.020	0.033
9	-0.687	0.046	-0.045	-0.737	-0.033	0.045
10	-0.689	0.048	-0.039	-0.743	-0.007	0.034
11	-0.690	0.050	-0.036	-0.748	0.012	0.026
12	-0.691	0.052	-0.032	-0.750	0.032	0.018
최대값	**-0.691**	**0.052**	**-0.045**	**-0.750**	**-0.033**	**0.045**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.917	0.688
록볼트 축력(kN)	28.530	3.156
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 -0.750㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 0.052㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 0.917MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 28.530kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.238	0.029	-0.031	-0.004	-0.003	-0.005
2	-0.420	0.051	-0.054	-0.007	-0.005	-0.008
3	-0.591	0.076	-0.083	-0.009	-0.007	-0.012
4	-0.588	0.131	-0.124	-0.011	-0.019	-0.022
5	-0.586	0.171	-0.157	-0.013	-0.028	-0.029
6	-0.584	0.213	-0.191	-0.015	-0.037	-0.036
7	-0.587	0.223	-0.187	-0.287	-0.011	-0.058
8	-0.590	0.230	-0.184	-0.498	0.007	-0.074
9	-0.592	0.237	-0.181	-0.689	0.029	-0.090
10	-0.598	0.244	-0.165	-0.677	0.089	-0.122
11	-0.602	0.249	-0.153	-0.668	0.134	-0.146
12	-0.606	0.254	-0.141	-0.658	0.179	-0.169
최대값	**-0.606**	**0.254**	**-0.191**	**-0.689**	**0.179**	**-0.169**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	1.179	0.973
록볼트 축력(kN)	22.104	8.270
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 -0.689㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 0.254㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.179MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 22.104kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

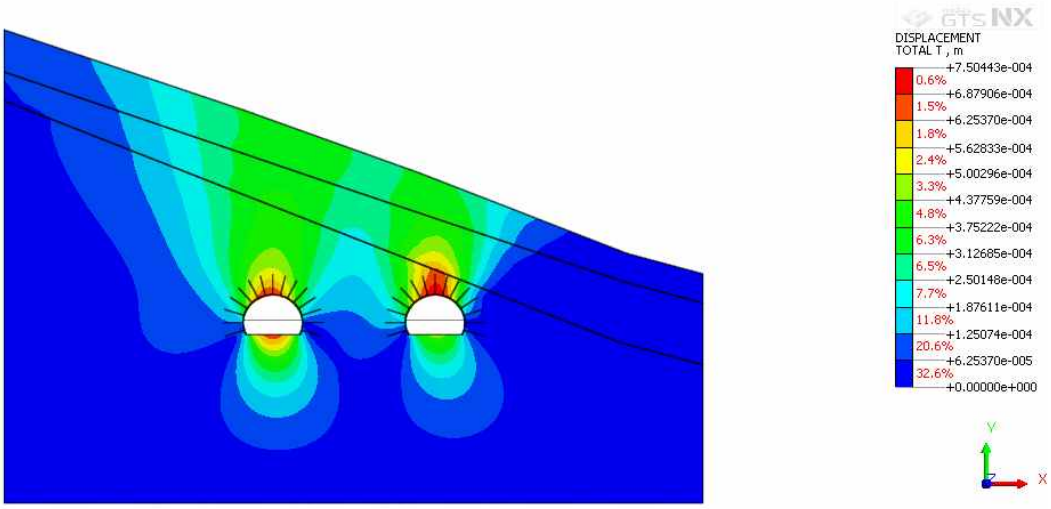
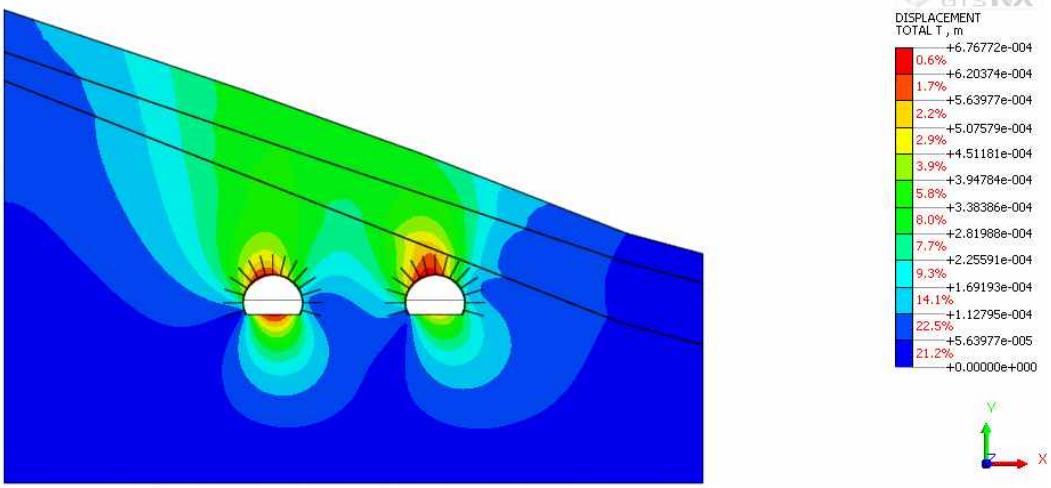
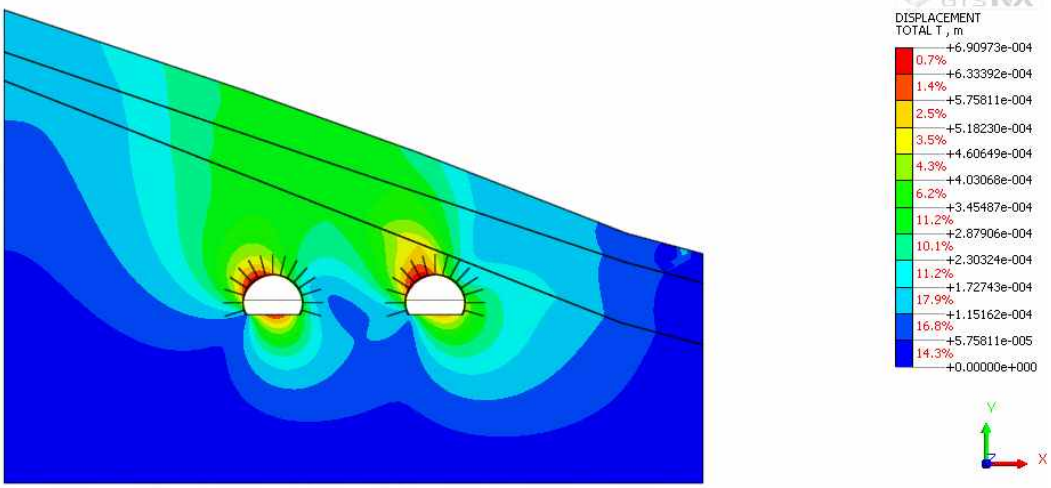
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.211	-0.133	-0.047	-0.004	-0.007	-0.003
2	-0.373	-0.235	-0.085	-0.008	-0.013	-0.006
3	-0.525	-0.328	-0.118	-0.012	-0.018	-0.008
4	-0.510	-0.342	-0.111	-0.016	-0.021	-0.010
5	-0.498	-0.353	-0.108	-0.019	-0.024	-0.012
6	-0.485	-0.362	-0.103	-0.022	-0.026	-0.013
7	-0.491	-0.368	-0.111	-0.272	-0.196	-0.036
8	-0.497	-0.372	-0.117	-0.466	-0.326	-0.059
9	-0.501	-0.376	-0.123	-0.646	-0.448	-0.073
10	-0.510	-0.381	-0.128	-0.617	-0.466	-0.057
11	-0.517	-0.385	-0.133	-0.595	-0.480	-0.046
12	-0.524	-0.388	-0.137	-0.571	-0.492	-0.032
최대값	**-0.525**	**-0.388**	**-0.137**	**-0.646**	**-0.492**	**-0.073**

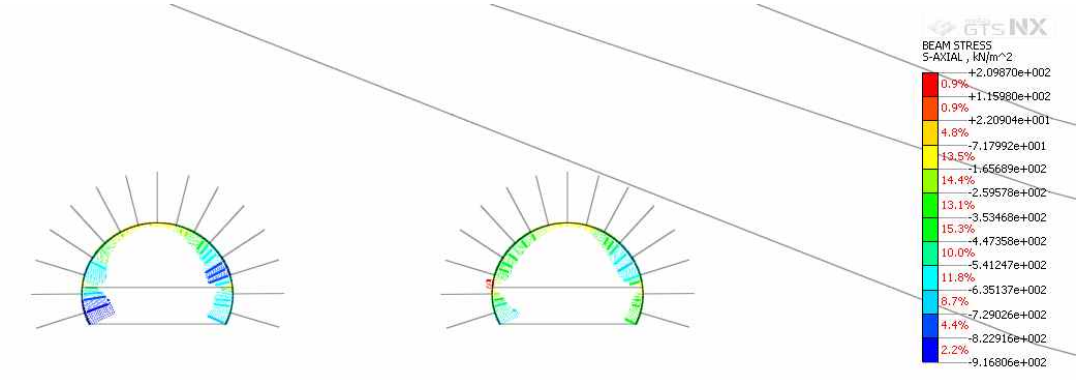
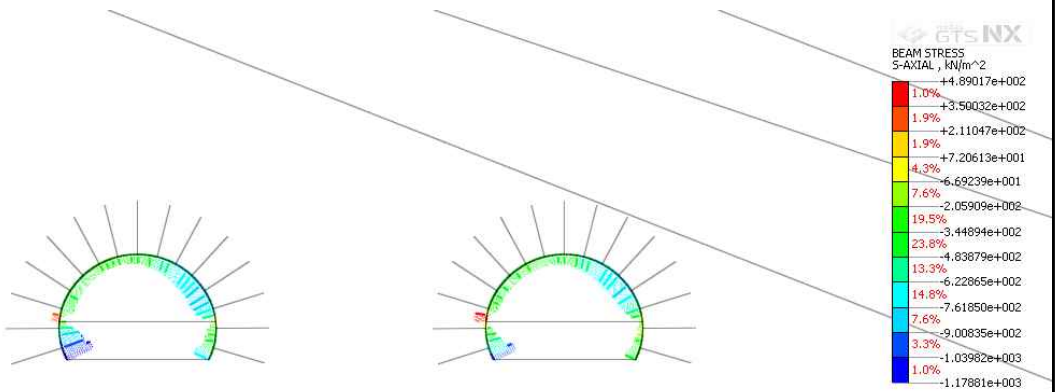
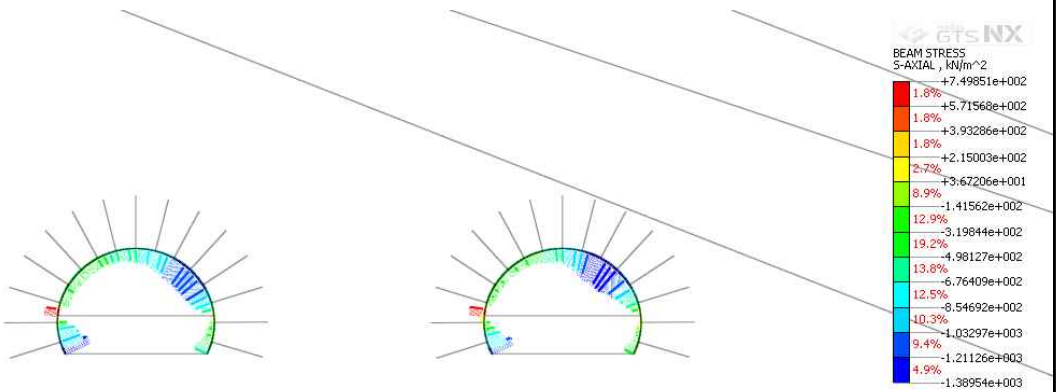
② 지보재 응력

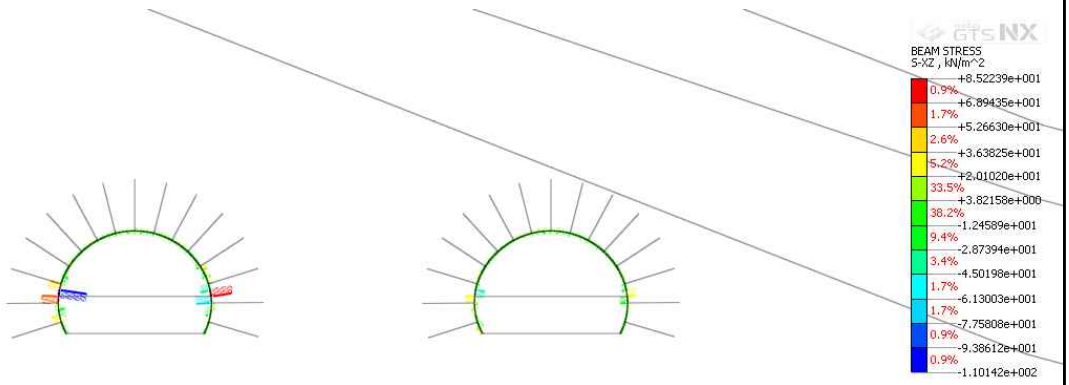
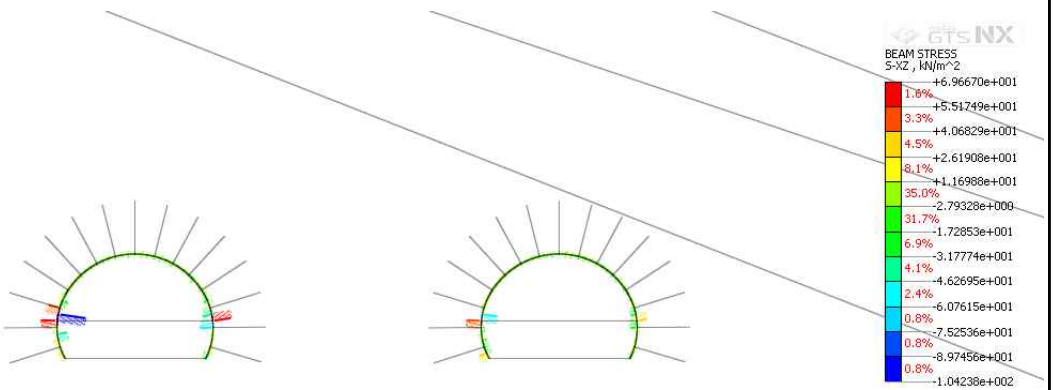
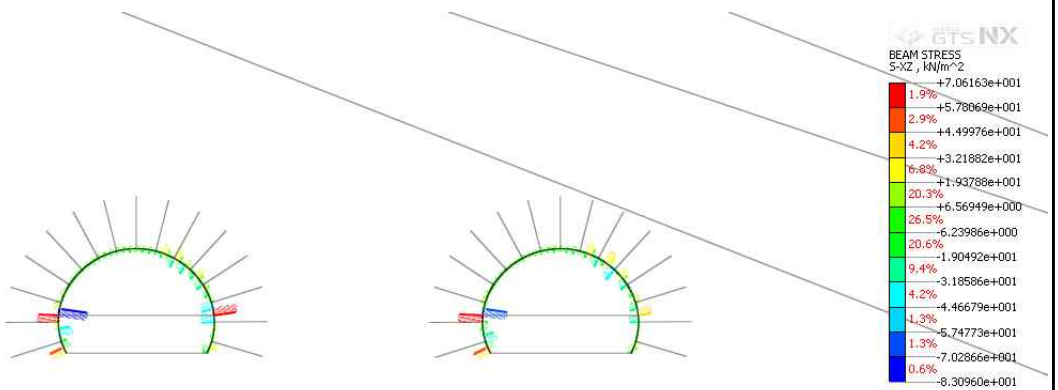
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	1.299	1.390
록볼트 축력(kN)	28.627	21.791
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

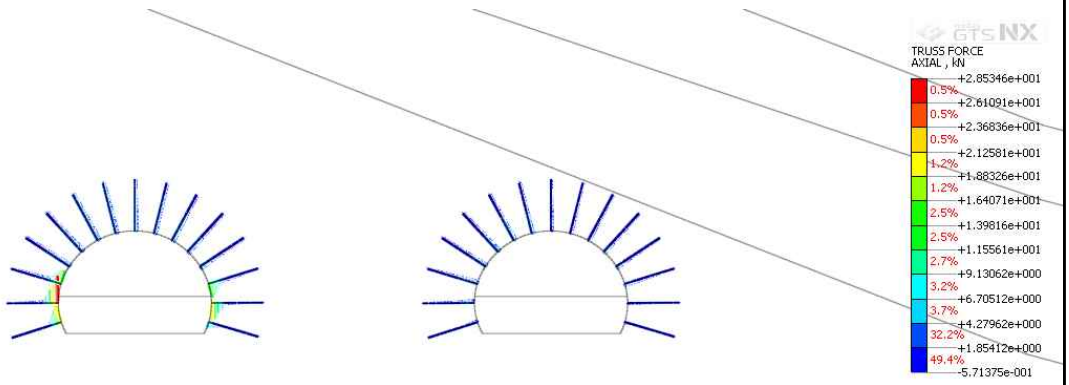
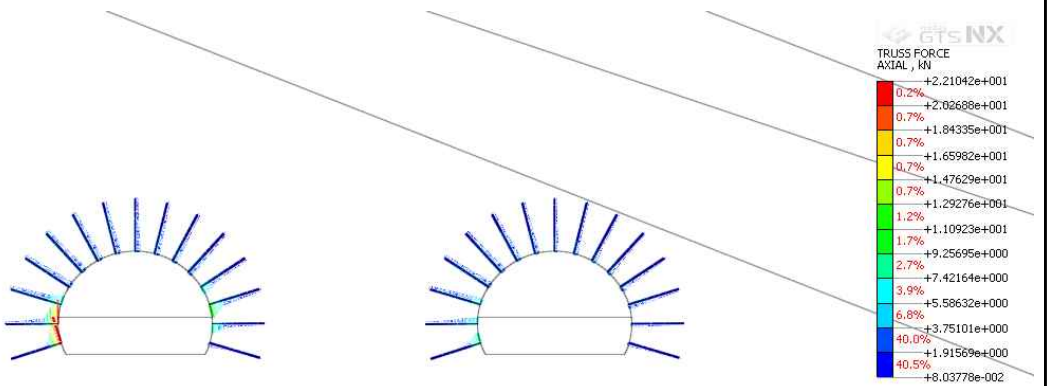
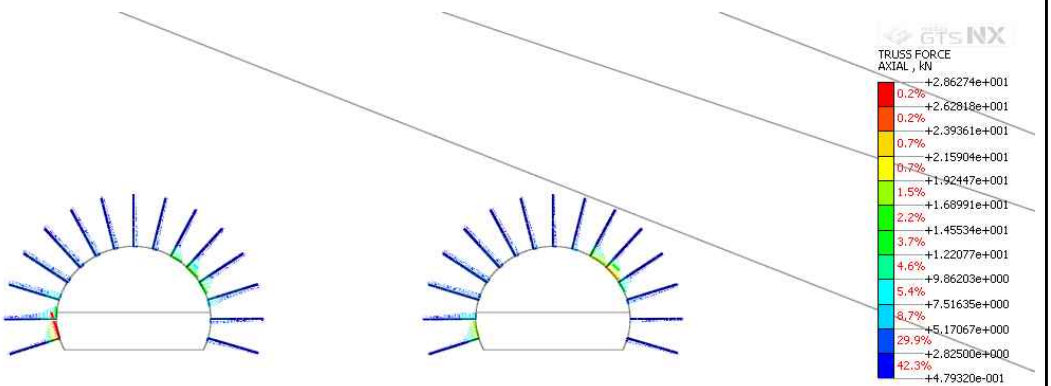
③ 해석결과

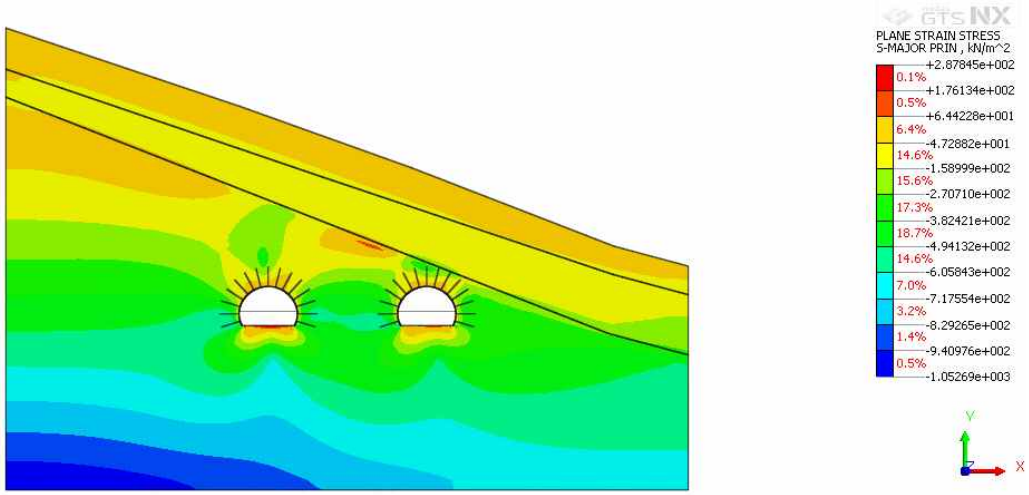
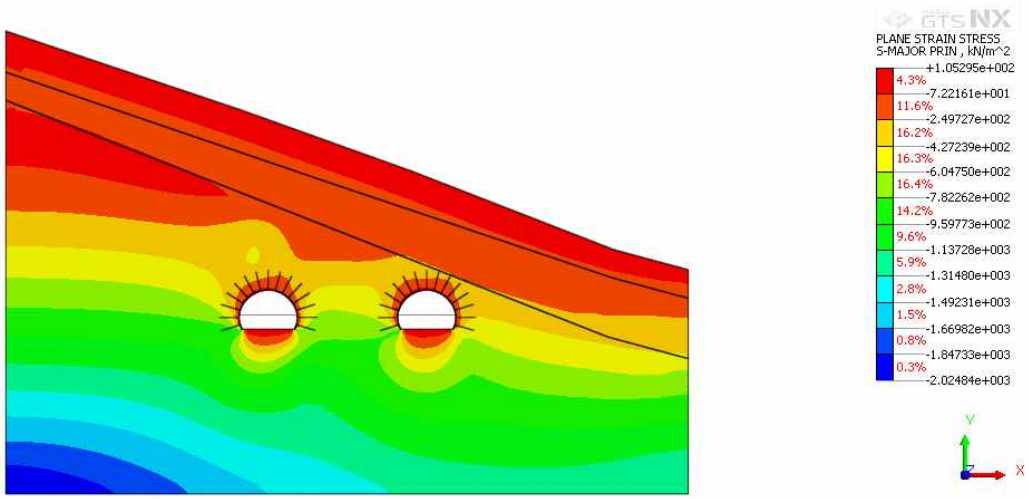
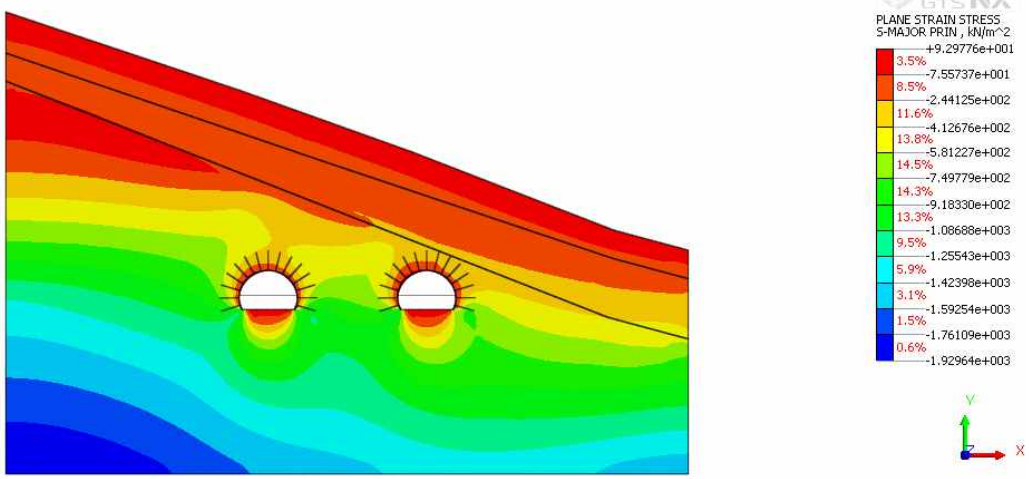
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -0.646㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 -0.492㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.390MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 28.627kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

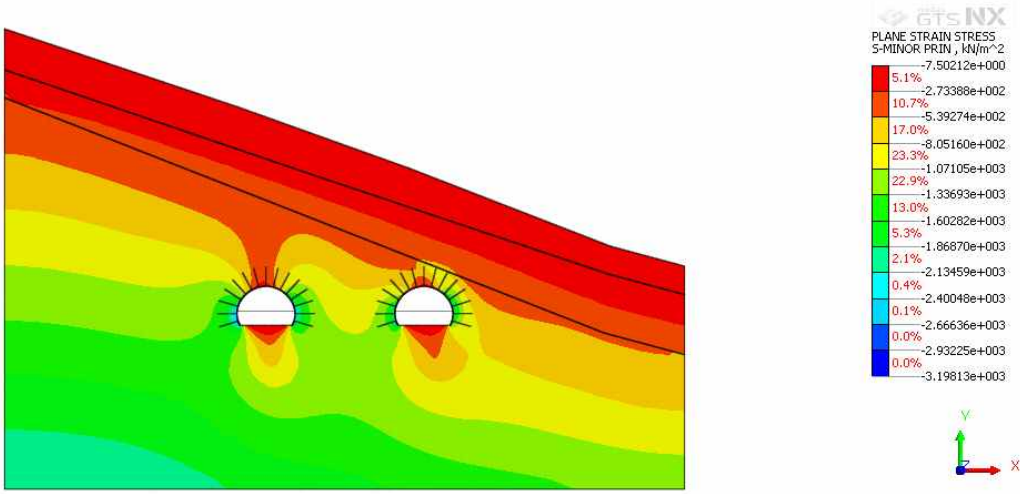
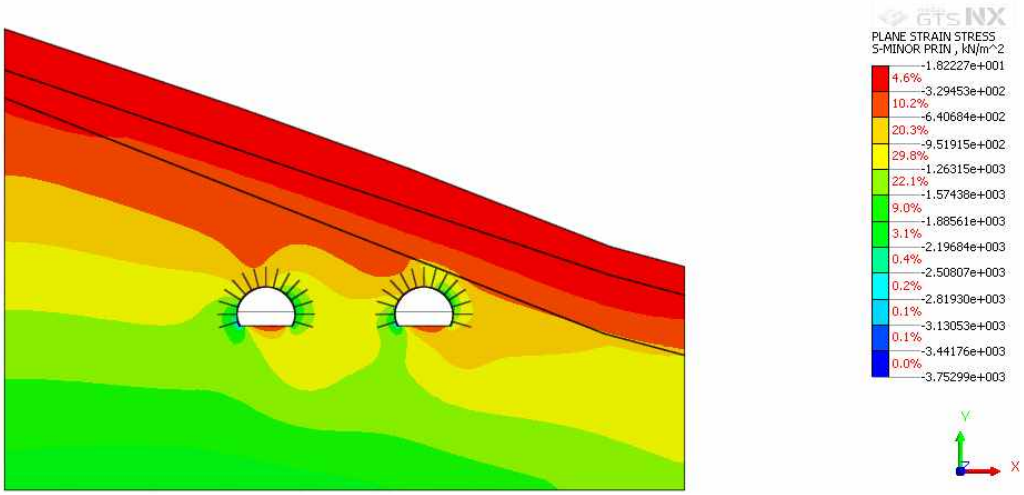
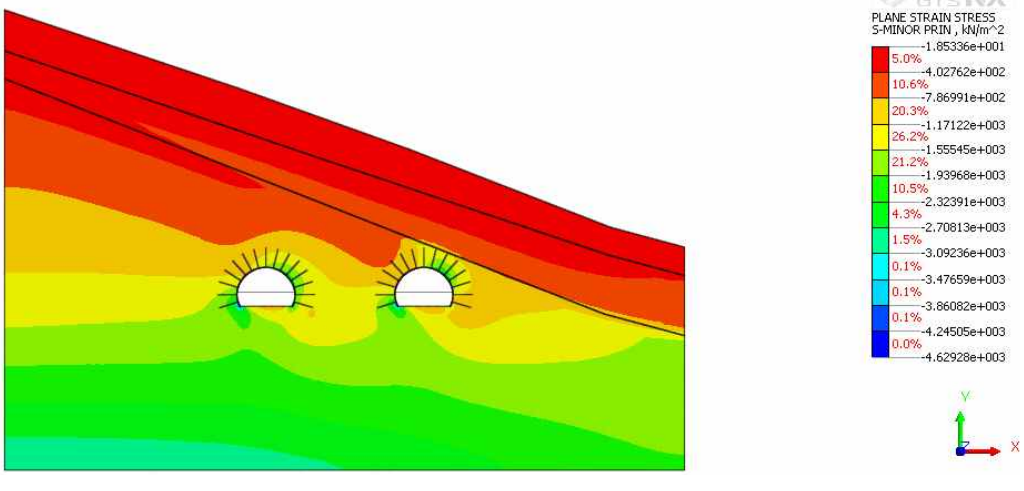
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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 고정1터널 시점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.961	-1.952	-1.975
최대 수평변위(㎜)	0.132	-0.130	-0.177
숏크리트 압축응력(MPa)	1.155<8.400 ∴O.K	1.294<8.400 ∴O.K	1.465<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	0.469	1.414	1.704

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

3.4.2 고정1터널 종점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-0.750	-0.689	-0.646
최대 수평변위(㎜)	0.052	0.254	0.492
숏크리트 압축응력(MPa)	0.917<8.400 ∴O.K	1.179<8.400 ∴O.K	1.390<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	28.530<88.70 ∴O.K	22.104<88.70 ∴O.K	28.627<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

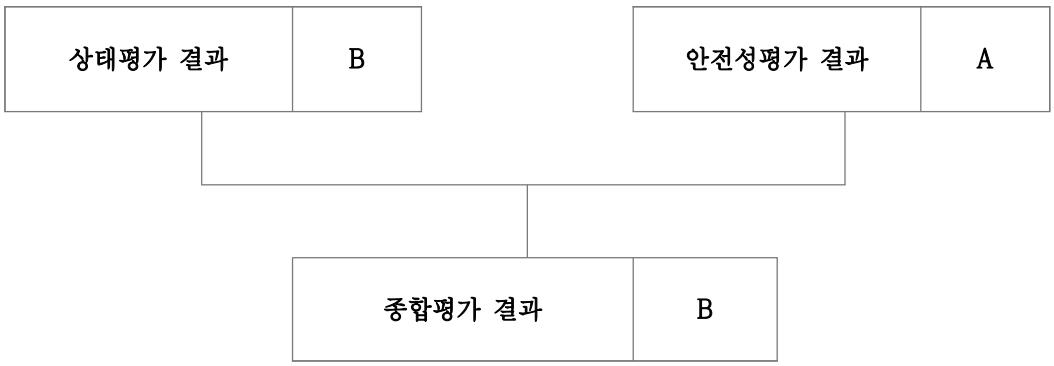
제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

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 (0.231)	A (3.098)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정

4.2 시설물의 안전등급

고정1터널(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
고정1터널 (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

고정1터널(대구)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리～산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,142m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 3Span, 종점 8Span)+굴착(NATM, 118Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시·종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 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/파손, 공동구에 균열, 철근노출, 박락/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. 고정1터널(대구)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

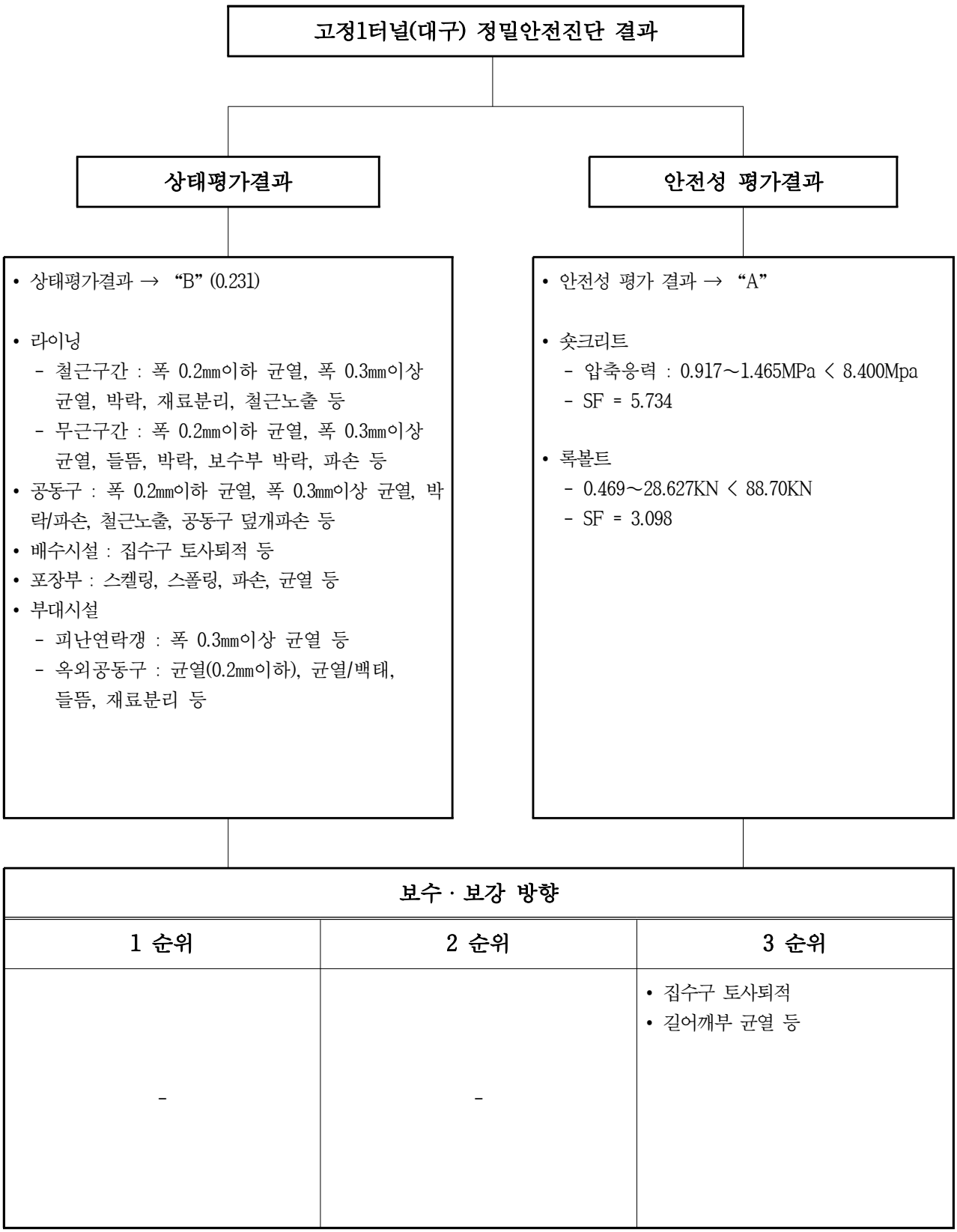
고정1터널(대구)에 대한 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하여 있는 것으로 조사되었다.

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 • 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)	5	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	859.6	m	지속관찰	-
	재균열(0.2㎜이하)	3	m	지속관찰	-
	재균열(0.3㎜이상)	465	m	지속관찰	-
	망상균열	2395.75	㎡	지속관찰	-
	철근노출	68.94	㎡	지속관찰	-
	박락/들뜸/파손	2.99	㎡	지속관찰	-
	재료분리	15	㎡	지속관찰	-
	표면오염	60	㎡	지속관찰	-
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	1.5	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	29.5	m	지속관찰	-
	타일균열/파손	165	개소	지속관찰	-
공동구	균열(0.2㎜이하)	6	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	32.4	m	지속관찰	-
	박락/파손	4.16	㎡	지속관찰	-
	철근노출	2.22	㎡	지속관찰	-
	공동구 덮개 파손	151	개소	지속관찰	-
배수시설	집수구 토사퇴적	6.3	㎡	정비	3
도로부 (포장면)	포장부 스캘링	1.22	㎡	지속관찰	-
	포장부 스폴링	1.38	㎡	지속관찰	-
	포장부 파손	0.09	㎡	지속관찰	-
	길어깨부 균열	2.55	m	주입보수	3
	길어깨부 박락	0.05	㎡	지속관찰	-
피난연결통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	2.8	m	주입보수	3
옥외공동구	균열(0.2㎜이하)	1.9	m	지속관찰	-
	균열/백태	0.7	m	지속관찰	-
	들뜸	0.4	㎡	지속관찰	-
	재료분리	0.43	㎡	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

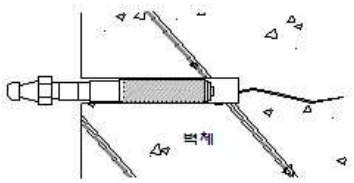
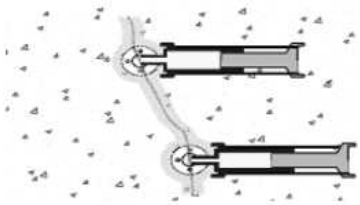
형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【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.

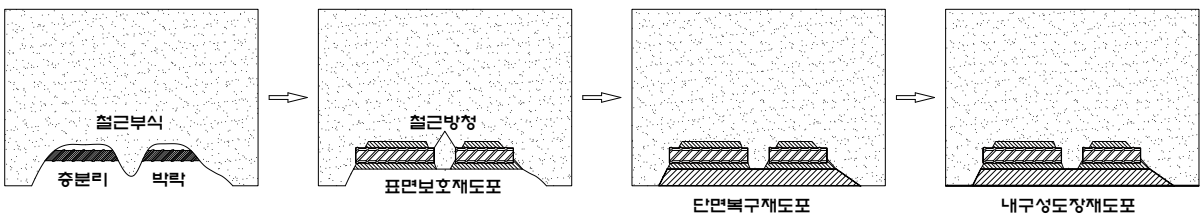
2) 시공방법

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

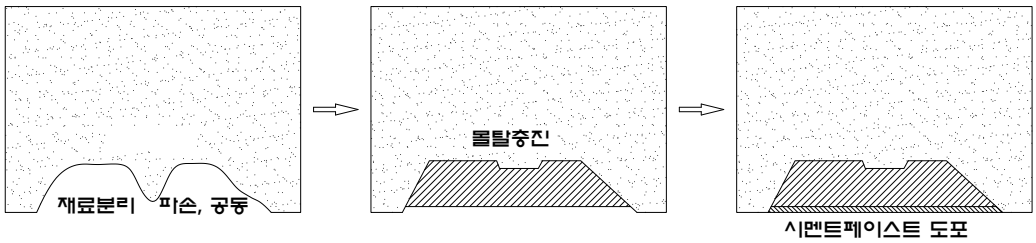
① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.

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

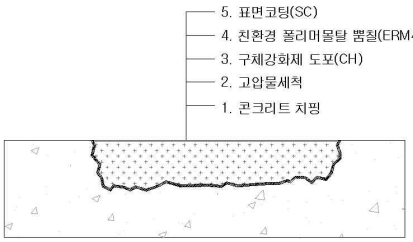
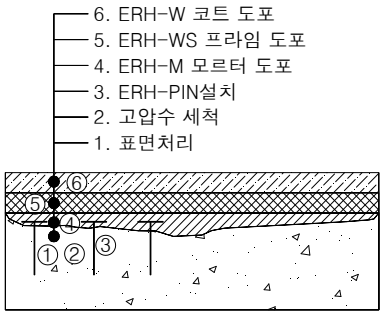
① 고압세정기의 용량은 50 ~ 150 kg/㎠를 사용

② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

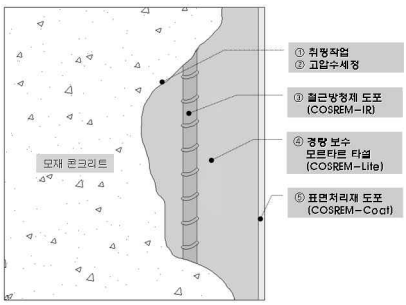
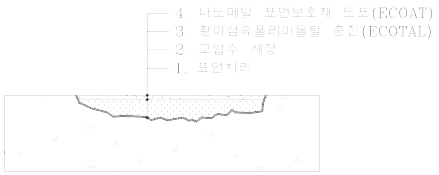
6) 콘크리트 충진

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)

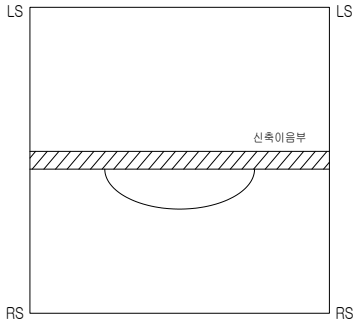
신기술 명칭	COSREM 공법 (신기술 제 596호)	에코텍트 공법 (신기술 제 642호)
공 법 개 요	• 경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수공법	• 황마섬유 혼입 폴리머 모르타르와 나노메탈 함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리머 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호재를 항온 정량 배합 분사 장비로 균일하게 분사하여 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.

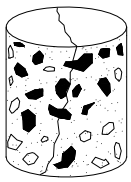
보수공사 후 평가는 구조상 문제가 되지 않는 부분에서 작은 지름의 코어를 채취하여 보수효과를 확인을 행하는 것이 좋다. 또는, 구조물에 대한 보수에 의한 방수효과를 비파괴적으로 확인하는 방법으로서는 가스압입 누수진단기나, 방식효과에 대해서는 전기 화학적인 방법인 분극저항 측정법 등이 제안되고 있다.

가. 코어채취에 의한 평가 방법

1) 콘크리트 코어강도

KS F 2422

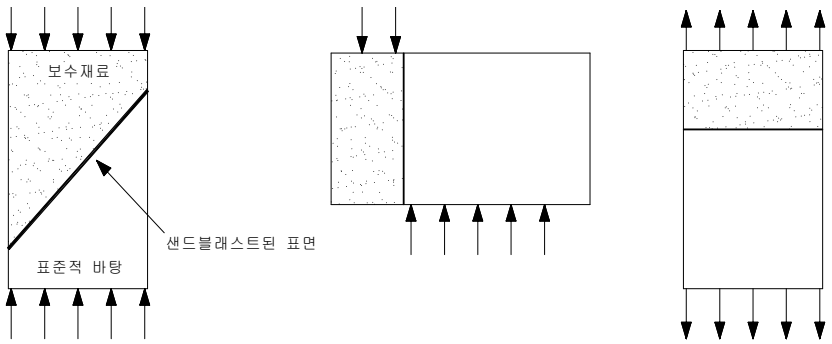
2) 육안에 의한 주입효과 평가



· 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

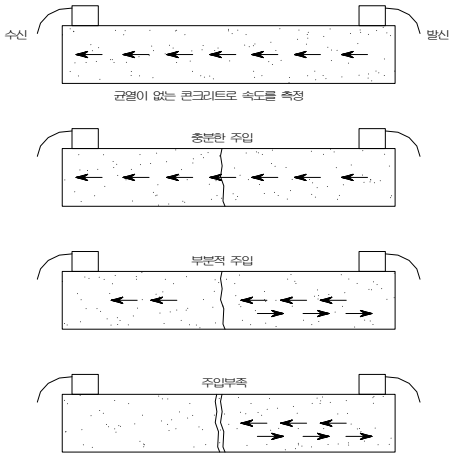
① 경사전단 시험 : 경제적이고 쉬움(부착강도=파괴하중/부착면적)관련 시험법
(ASTM C 881~884, ASTM C 1042, 1059)

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.



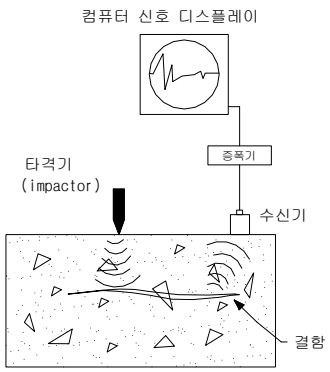
① 균열이 없는 콘크리트 단면에 초기화 (calibration)를 행한다.

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.

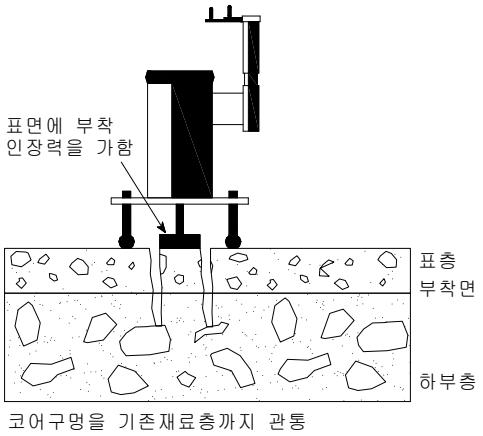
다. 충격음(Impact echo)법

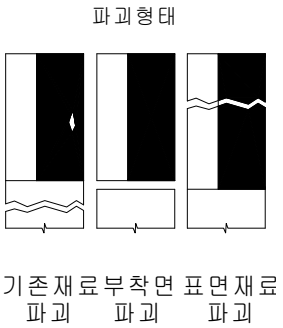


· 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 아래 그림과 같이 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 준다. 보수효과는 보수전과 후의 측정값의 차이와 건전면에서 측정된 값의 비교를 통하여 확인할 수 있다.

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	5	1.25	㎡	49	61	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	859.6	859.60	m	130	111,748	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	3	0.75	㎡	49	36	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	465	465.00	m	130	60,450	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	2395.75	2395.75	㎡	49	117,391	-	표면처리
	철근노출	지속관찰	68.94	103.41	㎡	232	23,991	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸/파손	지속관찰	2.99	4.49	㎡	215	964	-	제거 및 단면보수
	재료분리	지속관찰	15	22.50	㎡	215	4,837	-	단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	1.5	0.38	㎡	49	18	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	29.5	29.50	m	130	3,835	-	주입보수
공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	6	1.50	㎡	49	73	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	32.4	32.40	m	130	4,212	-	주입보수
	박락/파손	지속관찰	4.16	6.24	㎡	215	1,341	-	단면보수
	철근노출	지속관찰	2.22	3.33	㎡	232	772	-	단면보수(방청)
	공동구 덮개 파손	지속관찰	151	151.00	개소	100	15,100	-	공동구 덮개 재설치

【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
배수시설	집수구 토사퇴적	정비	6.3	9.45	㎡	80	756	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	2.55	2.55	m	130	331	3	-
피난연결 통로	바닥부 균열(0.3㎜이상)	지속관찰	2.8	2.80	m	130	364	-	-
옥외 공동구	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	1.9	0.48	㎡	49	23	-	표면처리
	균열/백태	지속관찰	0.7	0.70	m	130	91	-	주입보수
	들뜸	지속관찰	0.4	0.60	㎡	215	129	-	단면보수
	재료분리	지속관찰	0.43	0.65	㎡	215	138	-	단면보수
순공사비 합계(천원)									351,071
제경비(순공사비×50%)									175,536
순위별 공사비 (제경비 포함)		1순위							-
		2순위							-
		3순위							1,631
		지속관찰							524,976
유지보수 개략공사비 총계									526,607

※ 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

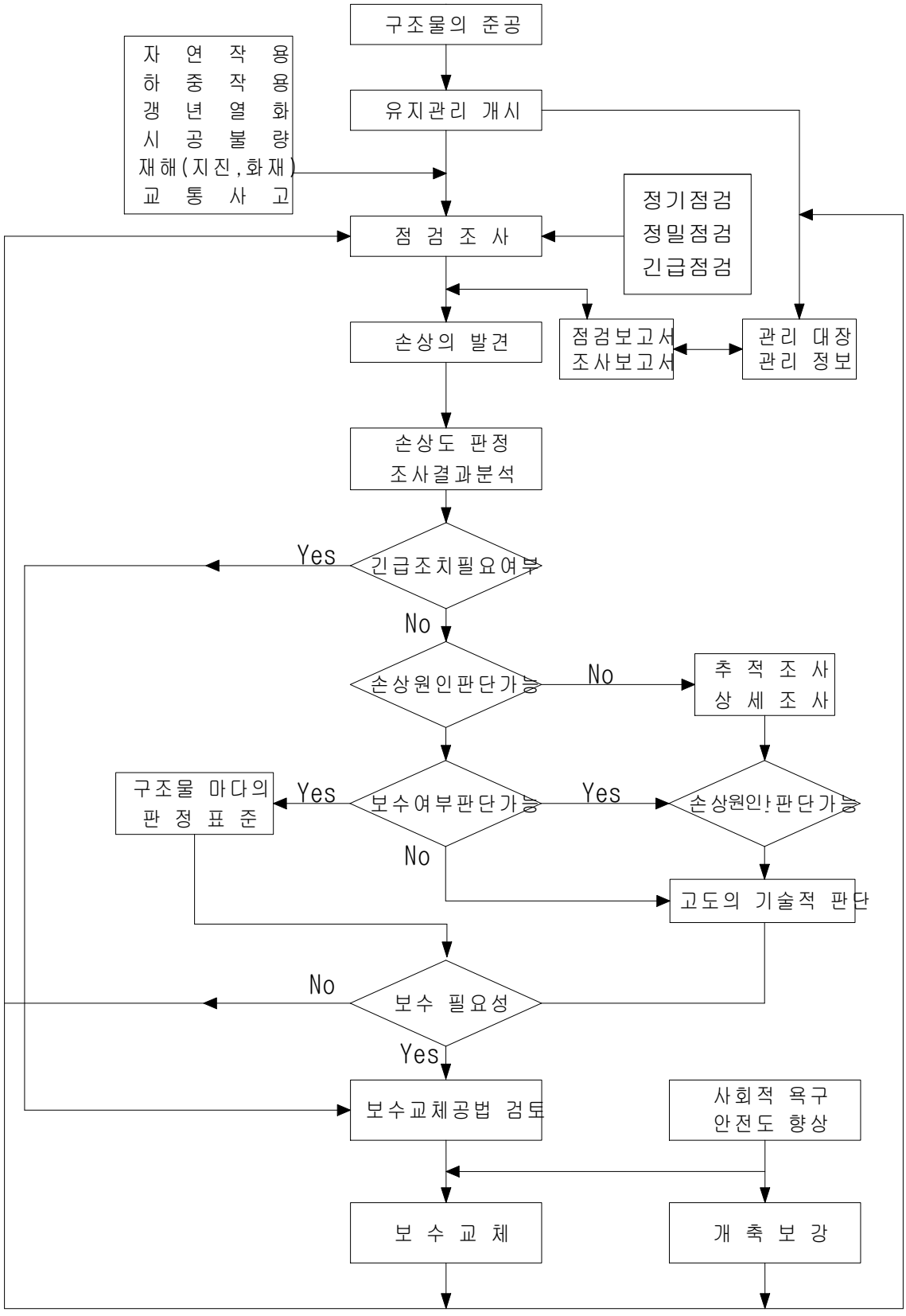
공용중인 시설물은 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인하고 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 이루어지도록 체계적인 유지관리가 필요하다. 시설물에 발견된 결함은 보수시기를 놓치면 손상 증대로 보수가 어려울 뿐만 아니라 보수비용 증대, 보수기간 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 되어 지속적인 유지관리는 매우 중요하다.

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, 고정1터널(대구)은 라이닝 구간에 균열, 철근노출, 들뜸/박락/파손, 공동구에 균열, 철근노출, 박락/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	 신축이음부 들뜸(S29, 어깨부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부	 단면손상(S14, 철근노출)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스폴링(S108)

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

고정1터널(대구방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리～산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,142m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 8Span, 종점 4Span)+굴착(NATM, 116Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시・종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 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 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면은 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로 및 사면소단 측구에 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-2 구간이 단위 m당 균열연장 1.3m로 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 종점부 개착터널 구간은 타이홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 종방향 균열이 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 판단된다.
- 라이닝의 횡방향 균열, 측벽부 균열은 균열 발생 위치 및 형태를 고려할 때, 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 보수가 바람직하다.
- 철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간 중 철근이 배근된 피난연락갱(S64, S66), Jet Fan(S30, S62, S94), T-6의 개착터널 인접구간(S4, S5)에서 발생되었으며, 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리 등의 단면 손상이 조사되었고, 들뜸부 콘크리트 낙하시 하부 통행차량에 사고발생 가능성이 높아 들뜸부 제거 및 단면보수가 필요하다. 단, 단면보수부의 재손상 발생시 통행차량의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 정밀 시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 철근노출, 박락, 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.
- 철근노출, 박락, 파손 손상은 외부충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트

품질 불량부위에 발생된 손상으로, 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로, 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 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)

- 고정1터널(대구방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 박락, 파손, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링, 박락, 파손 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 균열은 길어깨부에 발생된 손상으로 온도 및 건조수축에 의해 발생된 균열로 터널내 오염물질에 의해 손상확대 가능성이 있어 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.

7) 부대시설

- 고정1터널(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, 온도 및 건조수축에 의한 균열, 균열/백태, 들뜸, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 균열은 온도 및 건조수축에 의한 비구조적 균열로 내구성 확보를 위해 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜이하 균열은 표면처리가 바람직하다.
- 균열/백태 손상은 공동구에서 터널부로 연결된 설비시설 통로를 통해 터널내의 우수가 유입되어 발생된 손상으로 균열부 주입보수 및 표면처리가 바람직하며, 들뜸 및 재료분리 손상은 내구성 확보를 위해 단면보수가 필요하다.

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" 로 평가되나, 일부 개소는 피복두께가 다소 부족하여 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있는 "b" 로 평가되었으므로 주의관찰이 필요하다.
- 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.
- 고정1터널(대구) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 100m마다 횡방향으로 G.P.R탐사를 실시한 결과, 라이닝 배면에 대규모 공동이나 들뜸은 없으며 라이닝 두께는 전체 탐사대비 99.62%가 허용기준을 만족하는 등 시공상태가 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 중앙천단부보다 어깨부에서 상대적으로 라이닝 부족구간이 일부 조사되었으나 라이닝에 특이한 손상이 조사되지 않아, 향후, 점검시 손상발생 유무를 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 -1.975㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 1.465MPa, 록볼트의 최대축력은 28.627kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

마. 결 언

- 고정1터널은 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 고정1터널(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

고정1터널(부산방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리~산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,118m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 6Span, 종점 8Span)+굴착(NATM, 114Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시·종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 기계식 환기(Jet-Fan) 터널로 이루어져 있다.

1.1 외관조사 결과

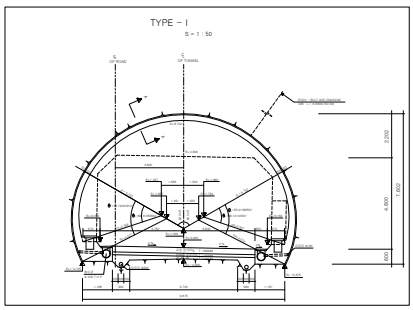
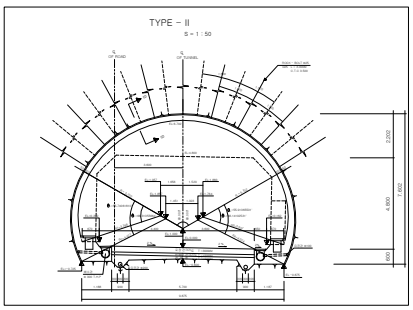
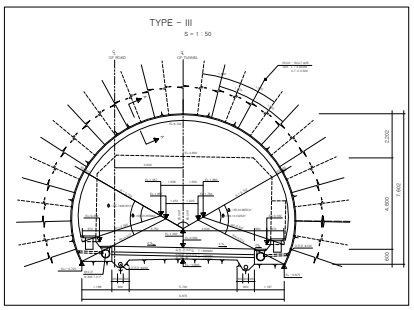
1.1.1 시공현황

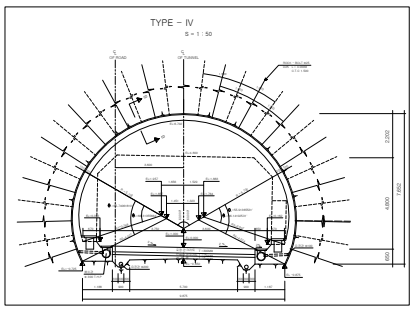
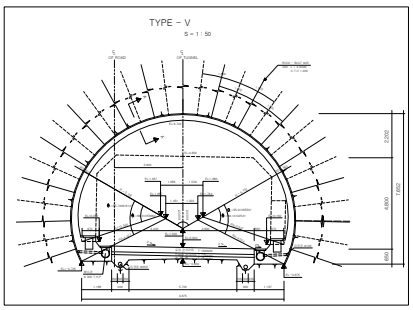
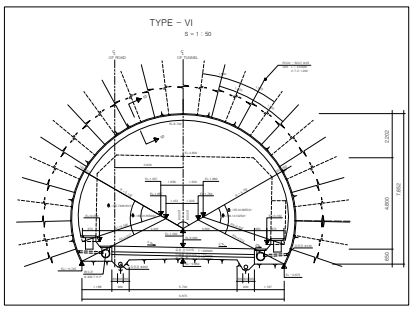
본 고정1터널(부산방향)은 '고속국도 제55호선 대구~부산간 건설공사 제7공구'에 해당하며, 시공현황은 다음과 같다.

【표 1.1.1】 고정1터널(부산방향) 시공현황

노 선	고속국도55호선(부산방향)	Sta.	부산기점 48.743km
위 치	경상남도 밀양시 상동면 가곡리 ~산외면 엄광리	시공사	현대산업개발(주)
설계사	선진엔지니어링(주)	준 공	2006. 02.

지보패턴 시공현황									
Start. Sta.	End. Sta.	굴착방법	지보 형태	형식	Start. Sta.	End. Sta.	굴착방법	지보 형태	형식
48k737	48k780	개착공법	-	개착터널	49k269	49k299	전단면 굴착	3	NATM
48k780	48k788	반단면 굴착	6	NATM	49k299	49k624	전단면 굴착	2	NATM
48k788	48k804	반단면 굴착	5	NATM	49k624	49k705	전단면 굴착	3	NATM
48k804	48k812	반단면 굴착	4	NATM	49k705	49k759	반단면 굴착	4	NATM
48k812	49k143	전단면 굴착	3	NATM	49k759	49k784	반단면 굴착	5	NATM
49k143	49k206	반단면 굴착	4	NATM	49k784	49k792	반단면 굴착	6	NATM
49k206	49k260	반단면 굴착	5	NATM	49k792	49k855	개착공법	-	개착터널
49k260	49k269	반단면 굴착	4	NATM	-	-	-	-	-

					
지보패턴 (TYPE-Ⅰ)		지보패턴 (TYPE-Ⅱ)		지보패턴 (TYPE-Ⅲ)	
경암	숏크리트 : 5cm	보통암	숏크리트 : 5cm	연암	숏크리트 : 8cm

					
지보패턴 (TYPE-Ⅳ)		지보패턴 (TYPE-Ⅴ)		지보패턴 (TYPE-Ⅵ)	
풍화암	숏크리트 : 12cm	풍화암(토)	숏크리트 : 16cm	갱구부	숏크리트 : 16cm

1.1.2 지형 및 지질조건

가. 지형

본 지역의 지형은 전반적으로 동부가 높고 서부가 비교적 낮은 지세로 산계의 발달을 보면 중산(△648m) 부근에서는 보두산, 낙화산, 용암산 등이 불규칙하게 연결되어 있으며 남쪽으로 향하여 고도가 낮아지는 산계를 이루고 있다. 산성산 일대에서는 산성산까지 이어진 북서방향의 뚜렷한 능선의 발달이 확인된다. 수계의 발달을 보면 노선 좌측으로 노선과 거의 평행하게 밀양강이 흐르고 있으며, 노선 종점부근을 가로지르는 동천이 밀양강으로 유입되면서 넓은 충적평야를 형성하고 있다.

나. 지층

본 조사지역을 구성하고 있는 지층으로는 부지조성을 위하여 인위적으로 매립한 매립층(Fill), 유수의 작용에 의해 퇴적물이 운반, 퇴적되어 형성된 충적층(Alluvium), 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집적되어 저지대를 불규칙하게 덮은 지층인 붕적층(Colluvium)과 기반암인 풍화대(Weathered Zone : 풍화토(Weathered Soil), 풍화암(Weathered Rock)), 연암(Soft Rock), 경암(Hard Rock)으로 구성되어있다.

이들 각 지층에 대한 구분은 시추조사 결과에 의하여 구분하였으며, 계획노선의 각 구간별 지층 상태를 상술하면 다음과 같다.

1) 붕적층

본 지층은 산사면을 따라 풍화토사 및 기반암의 암편 등의 전석이 이동, 집적되어 저지대에 불규칙하게 퇴적된 지층으로 TB~4,5번공을 제외하고 확인된 지층으로 황갈색을 띠는 세립~조립질의 자갈과 소량의 호박돌 섞인 점토질모래로 구성되어 있으며, 지표면(GL ±0 기준)으로부터 1.5~4.5m의 심도에 분포한다. 표준관입시험 결과 N값은 6/30~50/11로 나타났으나 자갈 및 호박돌에 의한 영향으로 그 값이 커진 것으로 사료되어 분석에서 제외한다.

2) 풍화토층

본 지층은 기반암의 최상부 풍화대로 전 시추공에서만 확인되었으며, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 0.0~5.3m에 이하에 분포하여 7.0~8.0m 심도에 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며, 풍화정도는 완전히 풍화된(Completely Weathered)상태이다.

표준관입시험 결과 N값은 19/30~50/17로 보통조밀내지 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 2.5~8.0m로 확인되었고, 풍화암층과는 편의상 표준관입시험값 50/15를 기준으로 분류하였다.

3) 풍화암층

본 지층은 TB-6번 조사공을 제외하고 전 시추공에서 확인되었으며, 암갈색, 회갈색의 색조를 띠는 세립~중립질의 실트질모래 상태의 지층으로 지표면하 7.0~8.0m의 심도에 분포하여 9.5m~16.8m까지 분포한다. 자연상태에서 일부 모암의 조직 및 구조를 간직하기도 하나 굴진 및 타격시 충격에 의해 실트 섞인 모래 상태로 쉽게 분해되며, 풍화정도는 상당히 풍화된(Highly Weathered)상태이고 일반적으로 심도가 증가함에 따라 풍화정도가 적어지면서 기반암으로 전이된다.

표준관입시험 결과 N값은 50/9~50/2으로 매우조밀(Very Dense)한 상대밀도(Relative Density)를 나타내며 층후는 2.2~8.8m로 확인되었다.

4) 연암층

본 지층은 전시추공에서 확인된 지층으로 황갈색, 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 9.5~16.8m 이하에 분포하여 13.0~28.8m의 심도에 분포한다.

본 지층의 풍화정도는 약간풍화(Slightly Weathered)~심한풍화(Highly Weathered) 상태로

조사지역에 따라 풍화정도를 달리하고 있다. 풍화가 심한 지역의 경우 절리 및 균열 등 기계적, 화학적 풍화가 동시에 이루어져 상부 연암은 비교적 파쇄구간이 폭 넓게 분포하여 대부분의 입자들이 변색되어 절리면으로부터 상당히 깊은 곳까지 변질되어 있으며, 일부 지역의 경우 Open Joint 내에 점토성분이 협재하기도 한다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 22%~66%로 나타났고 암질계수(RQD : Rock Quality Designation)의 경우 0%~7%로 나타났으며, 층후는 1.5~11.2m 이상으로 확인되었다.

5) 경암층

본 지층은 TB-5번 조사공을 제외하고 전 시추공에서 확인된 지층으로 청회색의 밀양안산암이며, 지표면하 13.0~19.5이하에 분포하여 17.0~41.0m의 심도에 분포한다.

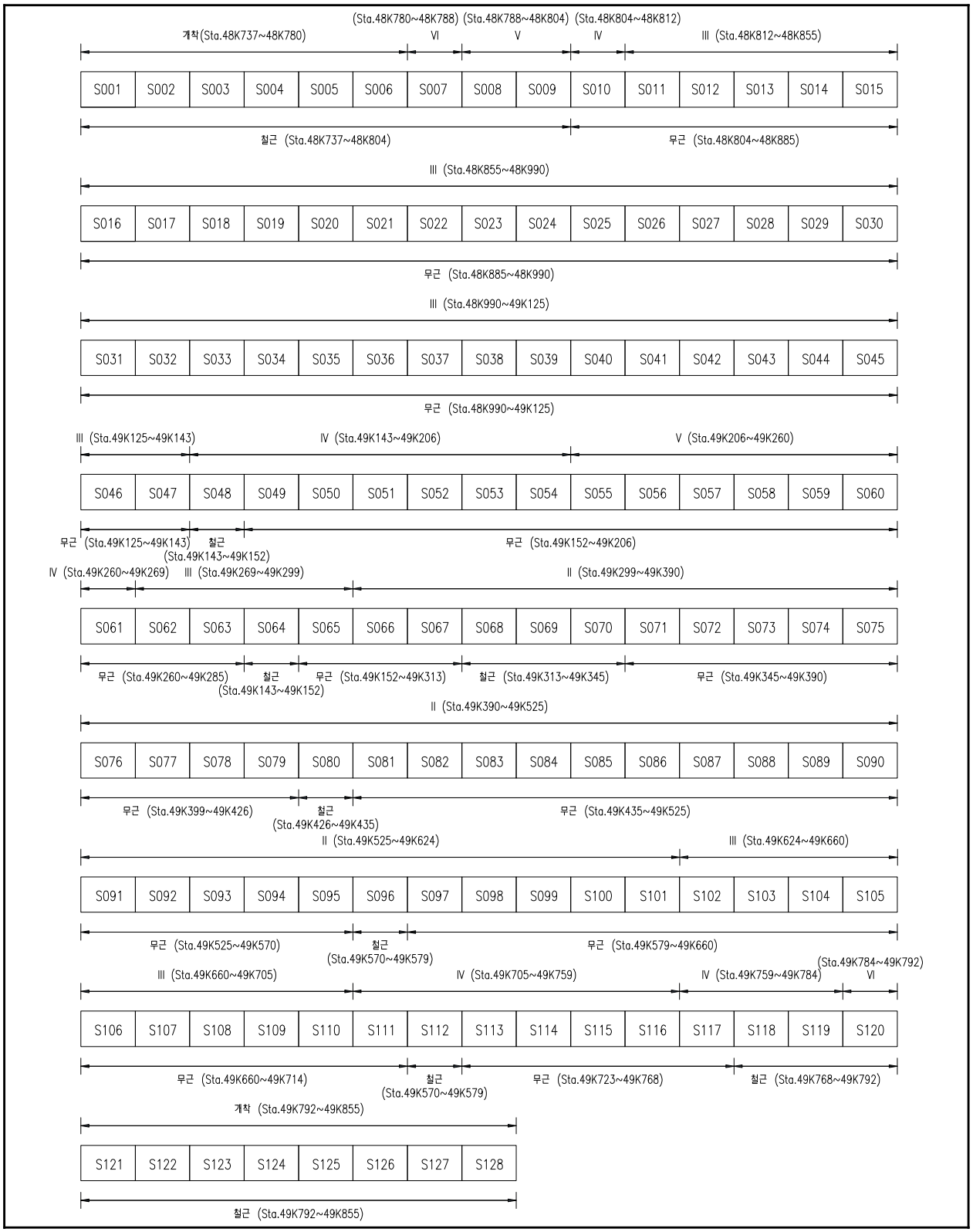
본 지층의 풍화정도는 신선(Fresh)~약간풍화(Slightly Weathered) 상태로 비교적 신선한 상태의 암반이다. 코아회수율(TCR : Total Core Recovery)의 경우 100%로 나타났고 암질계수(RQD : Rock Quality Designation)의 경우 62%~35%로 나타났으며, 층후는 1.3~21.5m 이상으로 확인되었다.

【표 1.1.2】 고정1터널 시추공별 지층분포

지 층	공 번	층 후 (m)	N치 (회수/cm)	비 고
붕적층	TB-17~TB-19	0.3 ~ 8.8	50/2 ~ 50/1	자갈 및 전석
풍화토	TB-18	6.8	50/25 ~ 50/11	실트질 모래
풍화암	TB-18	5.3	50/7	실트질 모래
연 암	TB-18 ~ TB-19	2.0 ~ 4.1	-	밀양안산암 화강성록암
경 암	TB-17 ~ TB-19	5.0 ~ 31.7	-	밀양안산암 화강성록암

1.1.3 현장조사 결과

고정1터널(부산방향)의 외관조사는 아래와 같이 구분하여 수행하였다.



【그림 1.1.1】Span별 시공현황

【표 1.1.3】Span별 시공현황

Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	비고	Span No.	이정(환) 시점	이정(환) 종점	연장	구분	지보 패턴	비고
S1	48K737	48K744	7m	개착	-	철근	S34	49K017	49K026	9m	NATM	T-3	무근
S2	48K744	48K751	7m	개착	-	철근	S35	49K026	49K035	9m	NATM	T-3	무근
S3	48K751	48K758	7m	개착	-	철근	S36	49K035	49K044	9m	NATM	T-3	무근
S4	48K758	48K765	7m	개착	-	철근	S37	49K044	49K053	9m	NATM	T-3	무근
S5	48K765	48K772	7m	개착	-	철근	S38	49K053	49K062	9m	NATM	T-3	무근
S6	48K772	48K780	8m	개착	-	철근	S39	49K062	49K071	9m	NATM	T-3	무근
S7	48K780	48K788	8m	NATM	T-6	철근	S40	49K071	49K080	9m	NATM	T-3	무근
S8	48K788	48K796	8m	NATM	T-5	철근	S41	49K080	49K089	9m	NATM	T-3	무근
S9	48K796	48K804	8m	NATM	T-5	철근	S42	49K089	49K098	9m	NATM	T-3	무근
S10	48K804	48K812	8m	NATM	T-4	무근	S43	49K098	49K107	9m	NATM	T-3	무근
S11	48K812	48K820	8m	NATM	T-3	무근	S44	49K107	49K116	9m	NATM	T-3	무근
S12	48K820	48K828	8m	NATM	T-3	무근	S45	49K116	49K125	9m	NATM	T-3	무근
S13	48K828	48K837	9m	NATM	T-3	무근	S46	49K125	49K134	9m	NATM	T-3	무근
S14	48K837	48K846	9m	NATM	T-3	무근	S47	49K134	49K143	9m	NATM	T-3	무근
S15	48K846	48K855	9m	NATM	T-3	무근	S48	49K143	49K152	9m	NATM	T-4	철근
S16	48K855	48K864	9m	NATM	T-3	무근	S49	49K152	49K161	9m	NATM	T-4	무근
S17	48K864	48K873	9m	NATM	T-3	무근	S50	49K161	49K170	9m	NATM	T-4	무근
S18	48K873	48K882	9m	NATM	T-3	무근	S51	49K170	49K179	9m	NATM	T-4	무근
S19	48K882	48K891	9m	NATM	T-3	무근	S52	49K179	49K188	9m	NATM	T-4	무근
S20	48K891	48K900	9m	NATM	T-3	무근	S53	49K188	49K197	9m	NATM	T-4	무근
S21	48K900	48K909	9m	NATM	T-3	무근	S54	49K197	49K206	9m	NATM	T-4	무근
S22	48K909	48K918	9m	NATM	T-3	무근	S55	49K206	49K215	9m	NATM	T-5	무근
S23	48K918	48K927	9m	NATM	T-3	무근	S56	49K215	49K224	9m	NATM	T-5	무근
S24	48K927	48K936	9m	NATM	T-3	무근	S57	49K224	49K233	9m	NATM	T-5	무근
S25	48K936	48K945	9m	NATM	T-3	무근	S58	49K233	49K242	9m	NATM	T-5	무근
S26	48K945	48K954	9m	NATM	T-3	무근	S59	49K242	49K251	9m	NATM	T-5	무근
S27	48K954	48K963	9m	NATM	T-3	무근	S60	49K251	49K260	9m	NATM	T-5	무근
S28	48K963	48K972	9m	NATM	T-3	무근	S61	49K260	49K269	9m	NATM	T-4	무근
S29	48K972	48K981	9m	NATM	T-3	무근	S62	49K269	49K278	9m	NATM	T-3	무근
S30	48K981	48K990	9m	NATM	T-3	무근	S63	49K278	49K285	7m	NATM	T-3	무근
S31	48K990	48K999	9m	NATM	T-3	무근	S64	49K285	49K292	7m	NATM	T-3	철근
S32	48K999	49K008	9m	NATM	T-3	무근	S65	49K292	49K299	7m	NATM	T-3	무근
S33	49K008	49K017	9m	NATM	T-3	무근	S66	49K299	49K306	7m	NATM	T-2	무근

【표 1.1.3】Span별 시공현황(계속)

Span No.	이정(환)		연장	구분	지보 패턴	비고	Span No.	이정(환)		연장	구분	지보 패턴	비고
	시점	종점						시점	종점				
S67	49K306	49K313	7m	NATM	T-2	무근	S98	49K588	49K597	9m	NATM	T-2	무근
S68	49K313	49K323	10m	NATM	T-2	철근	S99	49K597	49K606	9m	NATM	T-2	무근
S69	49K323	49K335	12m	NATM	T-2	철근	S100	49K606	49K615	9m	NATM	T-2	무근
S70	49K335	49K345	10m	NATM	T-2	철근	S101	49K615	49K624	9m	NATM	T-2	무근
S71	49K345	49K354	9m	NATM	T-2	무근	S102	49K624	49K633	9m	NATM	T-3	무근
S72	49K354	49K363	9m	NATM	T-2	무근	S103	49K633	49K642	9m	NATM	T-3	무근
S73	49K363	49K372	9m	NATM	T-2	무근	S104	49K642	49K651	9m	NATM	T-3	무근
S74	49K372	49K381	9m	NATM	T-2	무근	S105	49K651	49K660	9m	NATM	T-3	무근
S75	49K381	49K390	9m	NATM	T-2	무근	S106	49K660	49K669	9m	NATM	T-3	무근
S76	49K390	49K399	9m	NATM	T-2	무근	S107	49K669	49K678	9m	NATM	T-3	무근
S77	49K399	49K408	9m	NATM	T-2	무근	S108	49K678	49K687	9m	NATM	T-3	무근
S78	49K408	49K417	9m	NATM	T-2	무근	S109	49K687	49K696	9m	NATM	T-3	무근
S79	49K417	49K426	9m	NATM	T-2	무근	S110	49K696	49K705	9m	NATM	T-3	무근
S80	49K426	49K435	9m	NATM	T-2	철근	S111	49K705	49K714	9m	NATM	T-4	무근
S81	49K435	49K444	9m	NATM	T-2	무근	S112	49K714	49K723	9m	NATM	T-4	철근
S82	49K444	49K453	9m	NATM	T-2	무근	S113	49K723	49K732	9m	NATM	T-4	무근
S83	49K453	49K462	9m	NATM	T-2	무근	S114	49K732	49K741	9m	NATM	T-4	무근
S84	49K462	49K471	9m	NATM	T-2	무근	S115	49K741	49K750	9m	NATM	T-4	무근
S85	49K471	49K480	9m	NATM	T-2	무근	S116	49K750	49K759	9m	NATM	T-4	무근
S86	49K480	49K489	9m	NATM	T-2	무근	S117	49K759	49K768	9m	NATM	T-5	무근
S87	49K489	49K498	9m	NATM	T-2	무근	S118	49K768	49K776	8m	NATM	T-5	철근
S88	49K498	49K507	9m	NATM	T-2	무근	S119	49K776	49K784	8m	NATM	T-5	철근
S89	49K507	49K516	9m	NATM	T-2	무근	S120	49K784	49K792	8m	NATM	T-6	철근
S90	49K516	49K525	9m	NATM	T-2	무근	S121	49K792	49K800	8m	개착	-	철근
S91	49K525	49K534	9m	NATM	T-2	무근	S122	49K800	49K808	8m	개착	-	철근
S92	49K534	49K543	9m	NATM	T-2	무근	S123	49K808	49K816	8m	개착	-	철근
S93	49K543	49K552	9m	NATM	T-2	무근	S124	49K816	49K824	8m	개착	-	철근
S94	49K552	49K561	9m	NATM	T-2	무근	S125	49K824	49K832	8m	개착	-	철근
S95	49K561	49K570	9m	NATM	T-2	무근	S126	49K832	49K840	8m	개착	-	철근
S96	49K570	49K579	9m	NATM	T-2	철근	S127	49K840	49K847	7m	개착	-	철근
S97	49K579	49K588	9m	NATM	T-2	무근	S128	49K847	49K855	8m	개착	-	철근

가. 터널 주변 조사

1) 터널 시점부

터널은 상·하행선 분리터널이며 Bell Mouh 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

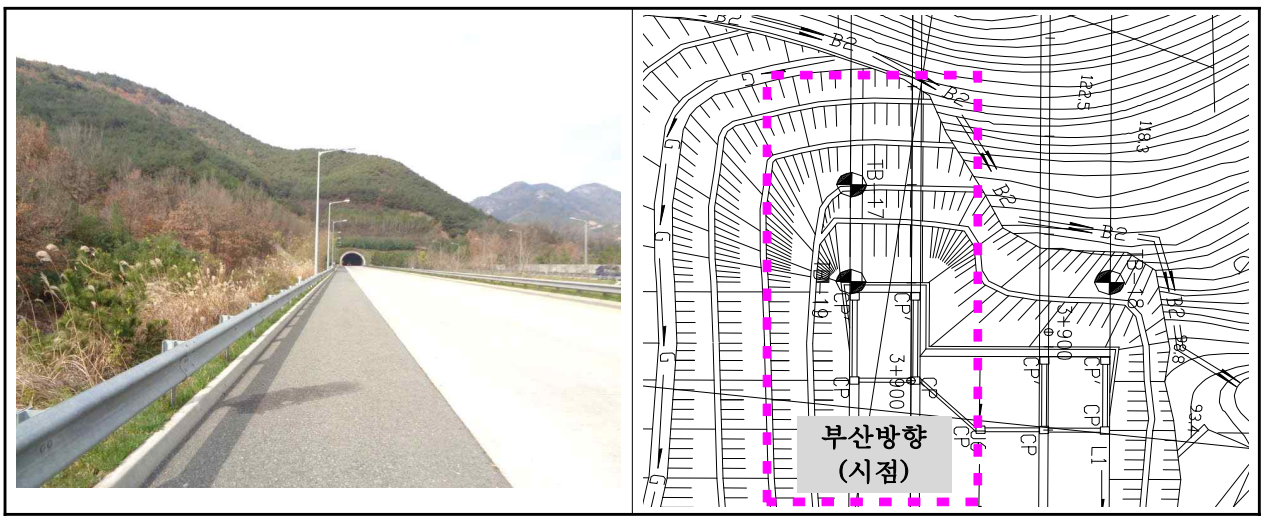
- 터널부 사면은 터널 시공을 위해 깎기 후 식생이 이루어진 상태로 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열, 집수지형 형성 등에 대해 주의 점검을 실시하였으며 점검결과, 일부 구간에 파괴 위험요소는 발견되지 않았으나 국부적인 표층유실, 세굴, 식생불량 등의 손상이 조사되었다. 발생손상은 우수 유입에 의해 국부적으로 발생되는 사면부의 일반적 손상으로 자연적으로 수렴되는 경우가 대부분이며, 손상부 보수시 지반 교란등으로 손상규모 및 범위가 확대될 수 있어 주의관찰이 필요하고 유로형성 및 지속적인 우수유입으로 손상확대 우려 시, 적절한 대책 수립 및 보수가 바람직하다.

② 갱문 주변부 점검 결과

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

③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 43.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 원활한 배수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.4】터널 시점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	· 좌측 STA.38+540m 2단 표층유실 및 암노출 · 좌측 STA.38+540m 5~7단 세굴 A=5m*15m · 좌측 STA.38+590m 자연사면 표층유실 A=10m*5m	주의관찰 주의관찰 주의관찰	
낙석위험	· 좌측 STA.38+600m 8단 암괴분포	주의관찰	
배수시설	초기이물질 퇴적	주기적 청소	
수 목	-		
기 타	-		

좌측 사면 식생불량/표면부 토사 유실

좌측사면 세굴

갱문상태 양호

배수로내 이물질 초기퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 파괴징후는 조사되지 않았으나, 집중호우 등 자연적 환경 요인에 의해 국부적 손상이 조사되었다. 현재 발생된 손상은 사면부에 발생되는 일반적 손상으로 대부분 자연적으로 수렴되며, 보수시 지반교란으로

추가적 손상발생 가능성이 있어 주의관찰이 바람직하나 집수지형 형성시, 지속적인 손상규모 확대되어 사면에 위해한 영향을 미칠 수 있어 손상부에 대한 주기적인 점검이 필요하다.

2) 터널 종점부

① 사면 상태 점검 결과

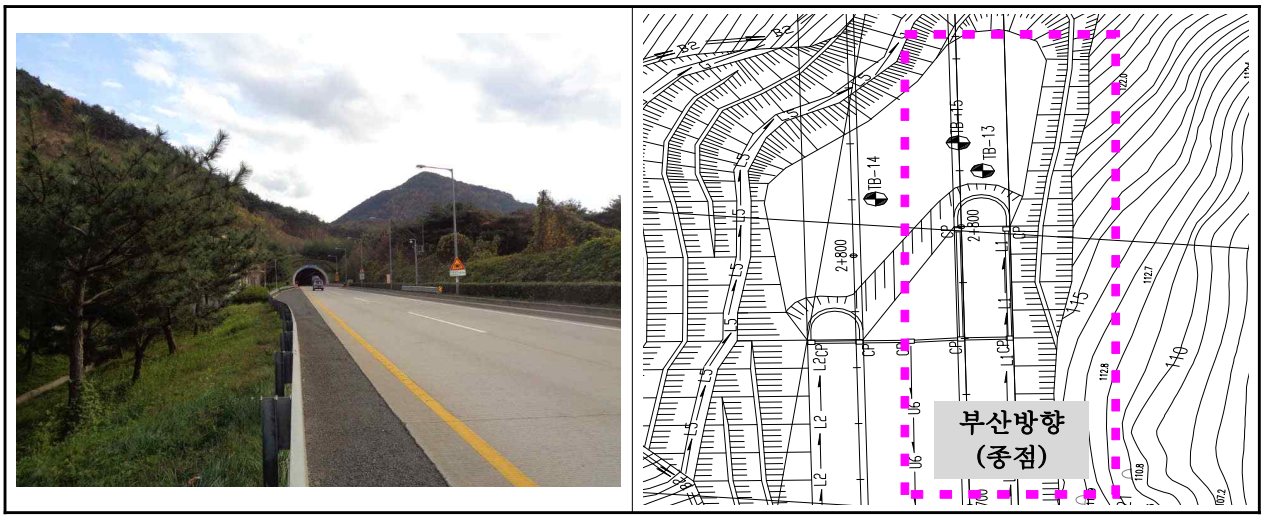
- 우측 및 배면부 사면은 보두산 하단에 위치하여 낮고 완만하게 형성되어 있으며, 사면부에 대해 토사 및 식생 유실, 사면부 인장 균열. 집수지형 형성 등에 대해 점검 결과, 특이한 이상 징후가 없는 양호한 상태로 조사되었다.

② 갱문 주변부 점검 결과

- 갱문 출입구 및 주변부에 대한 조사결과, 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

③ 배수시설 점검 결과

- 시점부 터널은 63.0m가 개착식 터널이며 터널 상부의 우수가 갱문측으로 유입되지 않도록 원활한 배수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.



【표 1.1.5】터널 종점부 손상현황

손상유형	위치 및 수량	조치내용	비고
표층유실	-		
낙석위험	-		
배수시설	배수로 초기 이물질 퇴적	주기적 청소	
수 목	-		
기 타	-		

우측사면 식생상태 양호	배면사면 식생상태 양호
갱문상태 양호	배수로내 이물질 초기퇴적

④ 점검 의견

터널 주변부의 사면 및 갱문, 배수상태는 지속적인 유지관리로 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.

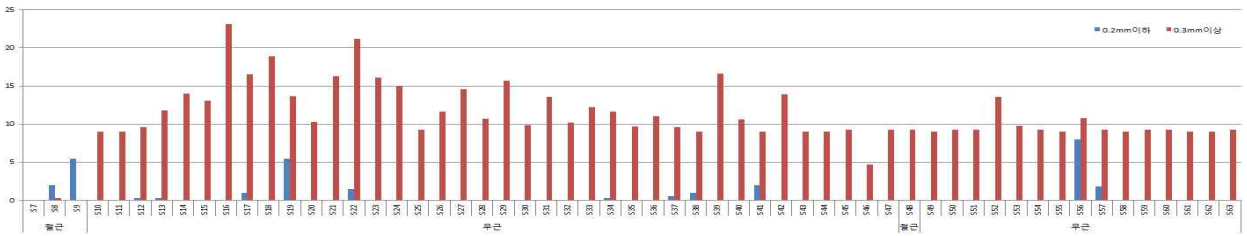
나. 콘크리트 라이닝

1) 균열

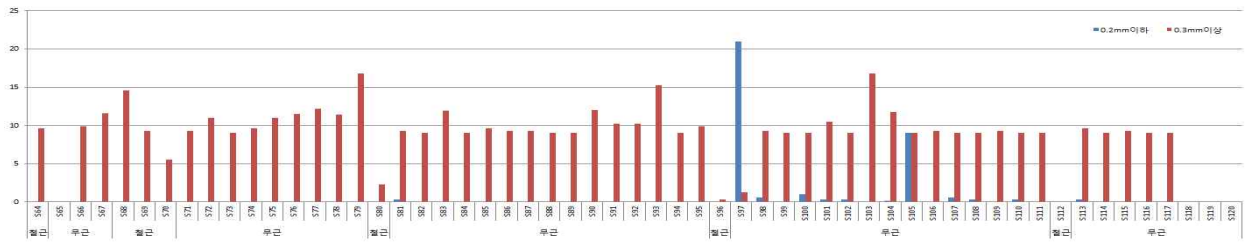
고정1터널(부산방향)은 중앙부(Span.No.069)에 비상주차대 및 피난연결통로가 위치하고 있으며, 토질조사 보고서 검토 결과, Span.No.029～033, Span.No.055～060, Span.No.091～096 구간에 약대(소규모 파쇄대)가 위치하는 것으로 조사되어 터널의 지반조건, 지보타입별, 단면 형식별 균열 발생 빈도수를 비교하여 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석하였으며 분

석 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.

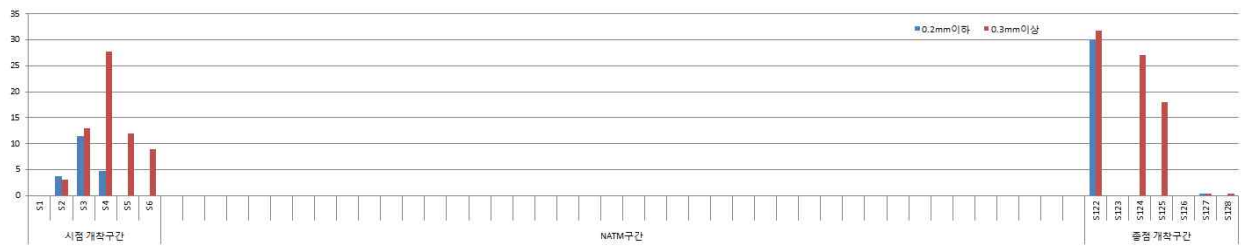
▸NATM구간 터널 전반부(S7~S64)



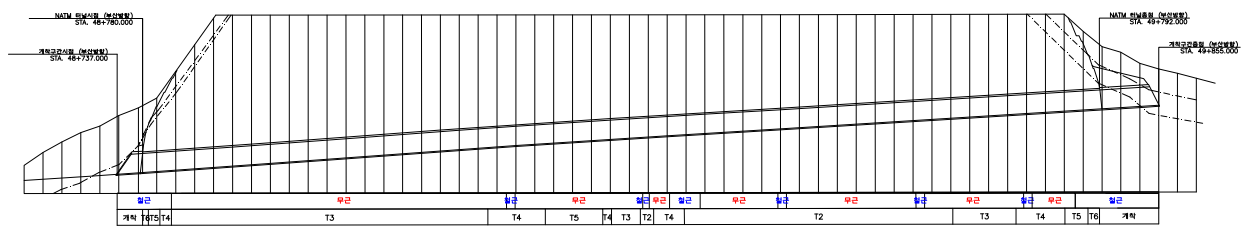
▸NATM구간 터널 전반부(S65~S120)



▸개착구간(시점부 : S1~S6, 종점부 : S121~S128)



▸라이닝 및 지보패턴 구분



· 설계도서 검토결과 Span.No.029~033, Span.No.055~060, Span.No.091~096에 약대(소규모 파쇄대)가 위치함

- 총 균열발생 연장을 지보패턴별로 분류한 결과 NATM 구간 중 T-3 구간이 단위 m당 균열연장 1.4m로 조사되어 가장 많이 발생되었으며, 발생 형태는 천단부, Span 연단부 종방향 균열로 조사되었다.
- 비상주차대 및 피난연결통로 위치(Span.No.068～070)의 확폭구간, NATM부 철근 배근 구간에서는 전반적으로 균열밀도가 높지 않으며, 2개소의 Span(S30, S66)에서 균열밀도가 높게 나타났다.
- NATM 구간의 균열은 후반부 보다 전반부가 높게 나타나 지반상태에 의한 영향을 배제할 수 없으나 후반부 및 전반부의 T-4, T-5구간이 T-3구간보다 균열발생 밀도가 낮아 지반조건보다는 시공적 요인과 타설시 온도, 습도 등 환경적 요인에 의해 전반부의 균열밀도가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다.
- 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.
- 개착터널 구간은 토피고가 높지 않고 배수터널로 시공된 상태로 라이닝에 발생 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없는 것으로 조사되었다.

【표 1.1.6】지보패턴별 균열발생 빈도

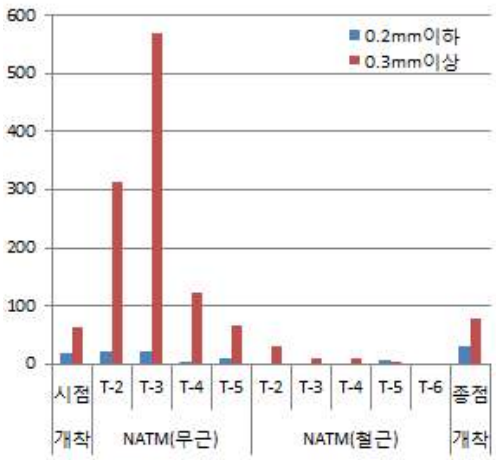
• 지보패턴별 전체 균열발생 연장

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근				철근					종점 개착
		T-2	T-3	T-4	T-5	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	
균열 총연장(m)	84.7	337.6	592.4	124.5	75.5	32.0	9.6	9.3	7.8	-	107.6
지보타입 연장(m)	43.0	275.0	435.0	116.0	63.0	50.0	7.0	18.0	32.0	16.0	63.0
단위 m당 균열연장(m)	2.0	1.2	1.4	1.1	1.2	0.6	1.4	0.5	0.2	-	1.7
비율(%)	6.1	24.4	42.9	9.0	5.5	2.3	0.7	0.7	0.6	-	7.8

• 지보패턴별 폭 0.3㎜이상 균열발생 연장

구 분 \ 지보패턴	시점 개착	무근				철근					종점 개착
		T-2	T-3	T-4	T-5	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	
균열 총연장(m)	64.8	314.4	569.2	124.2	65.7	32.0	9.6	9.3	0.3	-	77.3
지보타입 연장(m)	43.0	275.0	435.0	116.0	63.0	50.0	7.0	18.0	32.0	16.0	63.0
단위 m당 균열연장(m)	1.5	1.1	1.3	1.1	1.0	0.6	1.4	0.5	0.01	-	1.2
비율(%)	5.1	24.8	44.9	9.8	5.2	2.5	0.8	0.7	0.02	-	6.1

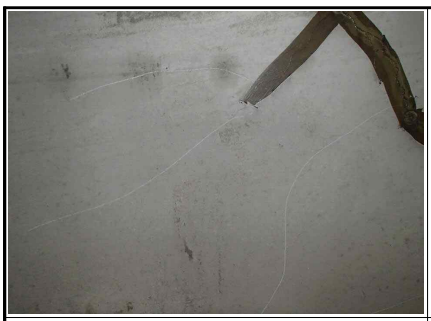
【표 1.1.7】 전체 균열발생 현황



구 분		0.2㎜이하		0.3㎜이상		합계	
		개소	물량(m)	개소	물량(m)	개소	물량(m)
개착	시점	15	19.9	15	64.8	30	84.7
NATM (무근)	T-2	9	23.2	82	314.4	91	337.6
	T-3	23	23.2	185	569.2	208	592.4
	T-4	1	0.3	22	124.2	23	124.5
	T-5	14	9.8	13	65.7	27	75.5
NATM (철근)	T-2	-	-	14	32.0	14	32.0
	T-3	-	-	3	9.6	3	9.6
	T-4	-	-	2	9.3	2	9.3
	T-5	3	7.5	1	0.3	4	7.8
	T-6	-	-	-	-		-
개착	종점	7	30.3	21	77.3	28	107.6
합 계		72	114.2	358	1266.8	430	1381.0

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.
- 개착터널 구간의 종방향 균열은 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며 일부 균열은 타이홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 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 구조물의 내구성 확보를 위해 균열 주입보수 실시가 바람직하다.



천단부 종균열(0.3㎜이상)-S22(무근)

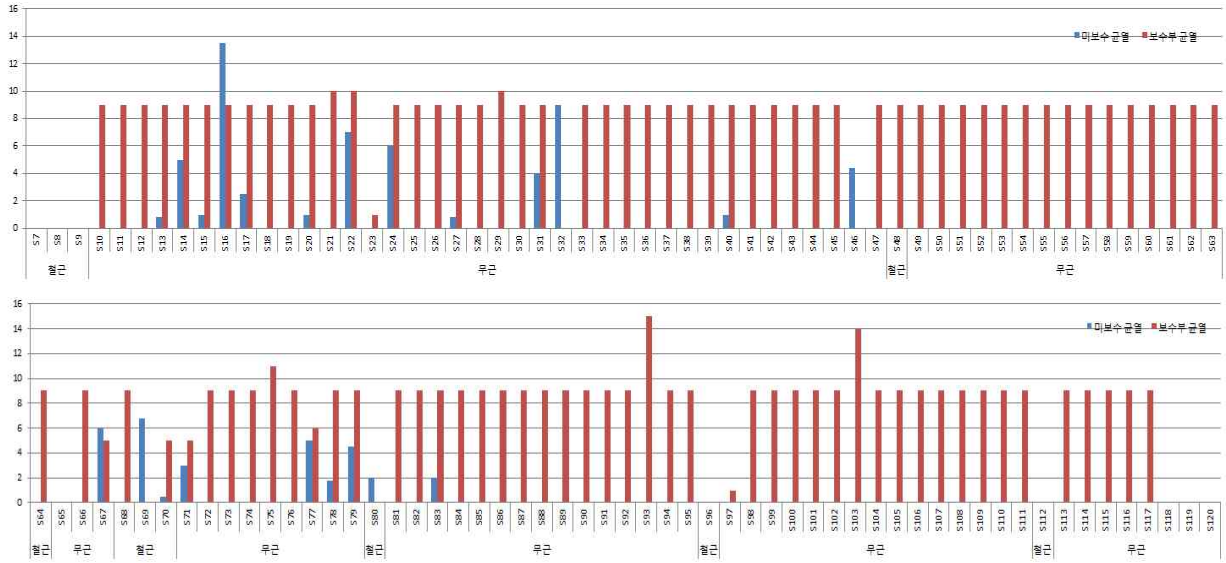
천단부 종균열(0.3㎜이상)-S77(무근)

개착부 종균열(cw=0.3㎜)-S0(철근)

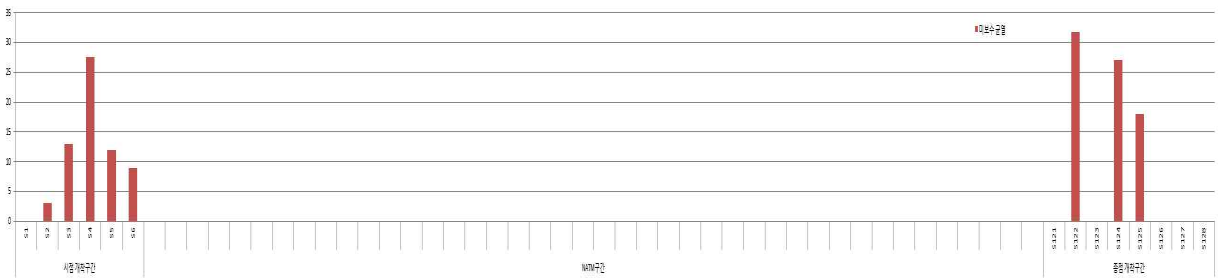
【사진 1.1.1】 라이닝 외관조사 결과(1)

● 외관조사 결과

- NATM구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 145개소, 981.6m)



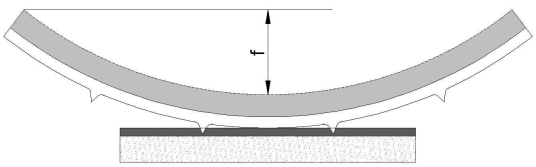
- 개착구간 균열 폭 0.3㎜이상의 종방향 균열 발생현황(총 33개소, 141.2m)



● 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.

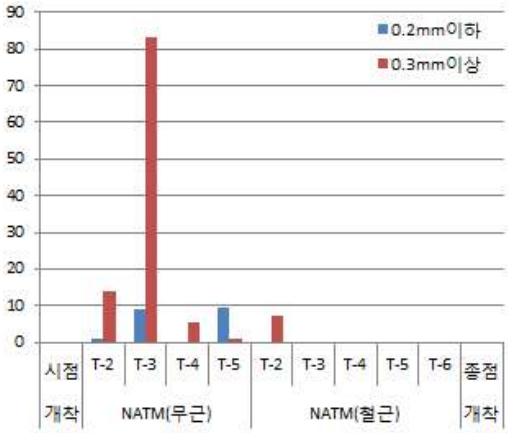
- 관리방안

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 표면처리가 바람직함.

② 천단부 횡방향 균열

• 천단부에서 발생된 횡방향 균열은 대부분 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며, 종방향 균열에 직각방향으로 불규칙하게 발생된 균열이 대부분으로 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 표면처리가 바람직하다.

【표 1.1.8】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-2	1	1.0	7	13.9	8	14.9
	T-3	7	8.9	57	83.0	64	91.9
	T-4	-	-	3	5.4	3	5.4
	T-5	13	9.5	1	1.2	14	10.7
NATM (철근)	T-2	-	-	2	7.5	-	-
	T-3	-	-	-	-	-	-
	T-4	-	-	-	-	-	-
	T-5	-	-	-	-	-	-
	T-6	-	-	-	-	-	-
개착	종점	-	-	-	-	-	-
합 계		21	19.4	70	111.0	89	122.9

천단부 횡균열(Cw=0.5㎜)-S68(철근)

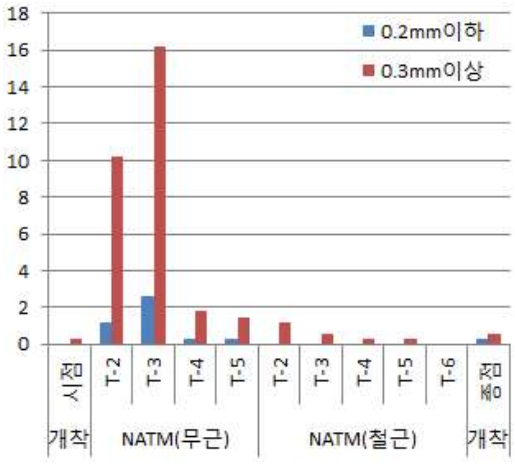
천단부 횡균열(Cw=0.3㎜)-S26(무근)

【사진 1.1.2】라이닝 외관조사 결과(2)

• 측벽부에서 발생된 균열은 수직형태의 균열로 균열이 길이가 짧고 연속성이 없으며 균열 위치도 불규칙하게 발생되어, 온도 및 건조수축에 의해 발생된 비구조적 균열로 판단되며, 내구성 확보를 위해 균열 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수를 실시하고, 0.2㎜ 이하 균열은 표면처리가 바람직하다.

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

【표 1.1.9】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	3	7.4
NATM (무근)	T-2	4	1.2	34	10.2	-	-
	T-3	9	2.6	54	16.2	8	41.65
	T-4	1	0.3	6	1.8	1	0.84
	T-5	1	0.3	5	1.5	-	-
NATM (철근)	T-2	-	-	4	1.2	-	-
	T-3	-	-	2	0.6	-	-
	T-4	-	-	1	0.3	-	-
	T-5	-	-	1	0.3	-	-
	T-6	-	-	-	-	-	-
개착	종점	1	0.3	2	0.6	7	115.4
합 계		16	4.7	110	33	19	165.29

2) 누수 및 백태

고정1터널(부산방향)의 경우 누수 및 백태는 발생하지 않은 것으로 조사되었다.

3) 단면손상(철근노출)

철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간은 전반적으로 양호하나 개착터널 일부 구간(S124)에 손상 발생이 조사되어 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.

【표 1.1.10】철근노출 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량	비 고
124	천단부	개착	1	0.01㎡	피복부족에 의한 철근노출
합 계	-	-	1	0.01㎡	-

철근노출-S124, 개착터널 구간 천단부

NATM구간 상태양호

【사진 1.1.3】라이닝 외관조사 결과(3)

4) 단면손상(비철근노출)

터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리 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.

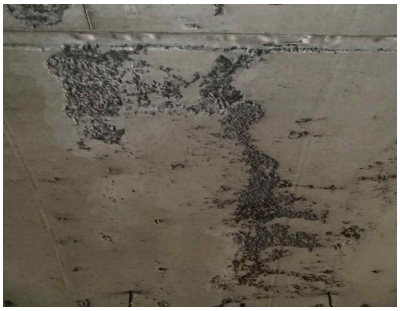
- Span No.006 천단부에 시공시 타설불량에 의한 재료분리가 조사되어 공용증가에 따라 차량의 배기가스 등에 의해 열화진행 가능성이 있어 단면보수 실시가 바람직하다.

【표 1.1.11】 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

발생위치 / 손상내용	천단부	좌벽체	우벽체	합 계
들뜸(㎡/개소)	1.36/30	-	-	**1.36/30**
박락(㎡/개소)	0.02/1	1.38/27	0.90/22	**2.30/50**
재료분리(㎡/개소)	25.00/1	-	-	**25.00/1**

【표 1.1.12】 천단부 단면손상(비철근노출) 손상발생 현황

Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	비 고	Span.No.	발생위치	지보패턴	개소	손상물량(㎡)	비 고
S6	천단부	개착	1	0.10	들뜸	S69	천단부	T-2	1	0.10	들뜸
S6	천단부	개착	1	25.00	재료분리	S79	천단부	T-2	2	0.04	들뜸
S34	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S82	천단부	T-2	1	0.06	들뜸
S37	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S84	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S39	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S84	천단부	T-2	1	0.02	들뜸
S39	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S85	천단부	T-2	1	0.06	들뜸
S40	천단부	T-3	1	0.02	들뜸	S89	천단부	T-2	1	0.03	들뜸
S40	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S91	천단부	T-2	1	0.05	들뜸
S44	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S92	천단부	T-2	1	0.05	들뜸
S46	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S97	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S46	천단부	T-3	1	0.01	들뜸	S99	천단부	T-2	1	0.05	들뜸
S46	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S100	천단부	T-2	1	0.04	들뜸
S47	천단부	T-3	1	0.03	들뜸	S104	천단부	T-3	1	0.10	들뜸
S49	천단부	T-4	1	0.06	들뜸	S120	천단부	T-6	1	0.03	들뜸
S59	천단부	T-5	1	0.04	들뜸	S120	천단부	T-6	1	0.20	들뜸
S62	천단부	T-3	1	0.02	박락	합 계			32	26.36	-

		
신축이음부 들뜸-S06, 어깨부	재료분리-S06, 천단부	신축이음부 박락-S62, 어깨부

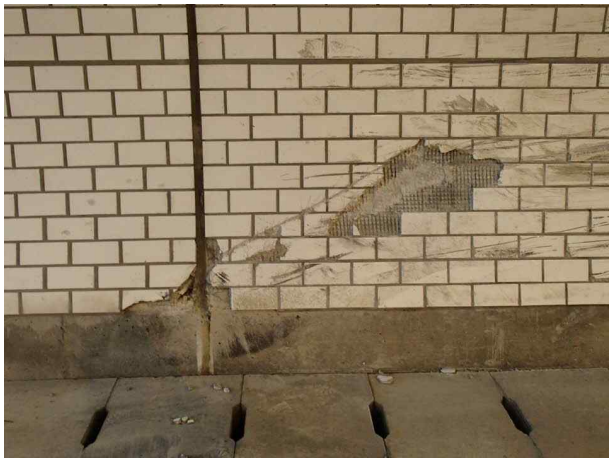
【사진 1.1.4】라이닝 외관조사 결과(4)

5) 기타(타일, 실런트, 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.
- 실런트는 신축유간부 이물질 퇴적을 방지하기 위해 신축 유간부에 설치된 실런트는 신축이음 단부 콘크리트 파손시 일부 탈락 방지 기능을 담당하고 있어 미설치된 구간에 대해 실런트 마감 설치가 바람직하다.
- 표면오염 손상은 종점측 Bell Mouth 절개면에 우수 유입에 의해 발생된 손상이나 손상정도가 경미하여 주의관찰이 바람직하며 향후, 손상증대시 표면처리가 필요하다.

【표 1.1.13】기타 손상 발생 현황

발생위치 / 손상내용	종점측 Bell Mouth	라이닝	좌벽체	우벽체	합 계
타일균열(개소)	-	-	35	32	67
타일파손(개소)	-	-	4	129	133
실런트 탈락(m/개소)	-	0.40/2	-	-	0.40/2
표면오염(㎡/개소)	60.00/1		-	-	60.00/1

	
타일파손-S10	타일파손-S123
타일균열-S14	타일탈락-S30
신축이음부 실런트 탈락-S7, 천단부	표면오염-126, 어깨부

【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 점검결과, 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 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 주의관찰 후 손상확대시 보수가 바람직하다.
- 박락, 파손 손상은 외부 충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트 품질 불량부위에 발생된 손상으로 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 단면보수가 바람직하다.

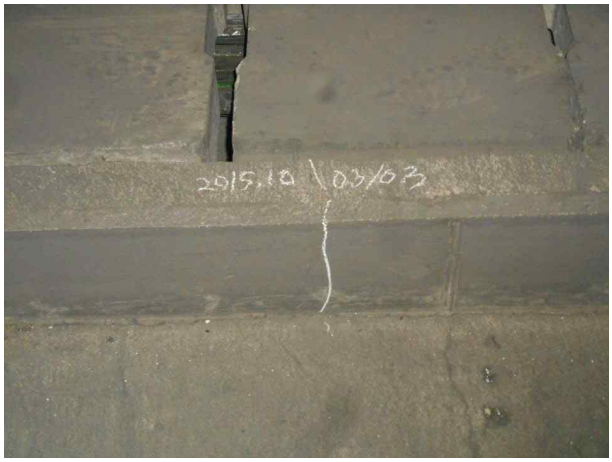
【표 1.1.14】공동구 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비 고
균열(0.2㎜이하),(m/개소)	온도 및 건조수축	5.5/19	주의관찰	-
균열(0.3㎜이상),(m/개소)	온도 및 건조수축	18.0/60	주입보수	-
파손 및 박락(㎡/개소)	외부충격 등	9.66/25	단면보수	-
공동구 덮개 파손(개소)	외부충격 등	158	재설치	-

덮개 파손-S3

박락-S30

【사진 1.1.6】공동구 외관조사 결과

	
파손-S87	균열-S29

【사진 1.1.6】 공동구 외관조사 결과(계속)

라. 배수시설

1) 개요

고정1터널(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 21개소씩 총 42개소가 설치되어 있으며, 이물질 퇴적은 포장부의 이물질이 유입되어 퇴적된 손상으로 전 구간에서 조사되었으며, 원활한 배수 처리를 위해 관리주체의 청소계획을 수립하여 일괄 청소하는 것이 바람직하다.

【표 1.1.15】 배수시설 손상발생 현황

손상내용	원인	수량	조치방안	비고
집수구 토사퇴적(㎥/개소)	이물질 및 토사유입	4.80/18	청소실시	-

이물질 퇴적(토사)-S19	이물질 퇴적(토사)-S36

【사진 1.1.7】 배수시설 외관조사 결과

마. 도로부(포장면)

고정1터널(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, 표면박리, 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.
- 표면박리 손상은 표면부 초기 손상으로 공용시 제설재 사용, 지속적인 차량하중 재하에 의한 표면부 손상으로 손상정도가 경미하여 주의관찰하고 향후, 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 1.1.16】 도로부(포장면) 손상발생 현황

손상내용		원인	수량	조치방안	비고
포장부 (LMC)	균열(m/개소)	차량반복하중 및 충격	103.8/13	주입보수	-
	망상균열(㎡/개소)	건조수축	48.00/3	주의관찰	
	스캘링(㎡/개소)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	65.36/8	주의관찰	-
	표면박리(㎡/개소)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	0.10/1	주의관찰	
	스폴링(㎡/개소)	온도변화에 의한 신축거동	8.34/55	주의관찰	-
길어깨부	균열(m/개소)	온도 및 건조수축	2.40/4	주입보수	-
	박락(㎡/개소)	차량반복하중 및 충격	0.05/3	주의관찰	-

신축줄눈부 스폴링-S39	스켈링-S43
표면박리-S64	균열-S21~S22

【사진 1.1.8】도로부 외관조사 결과

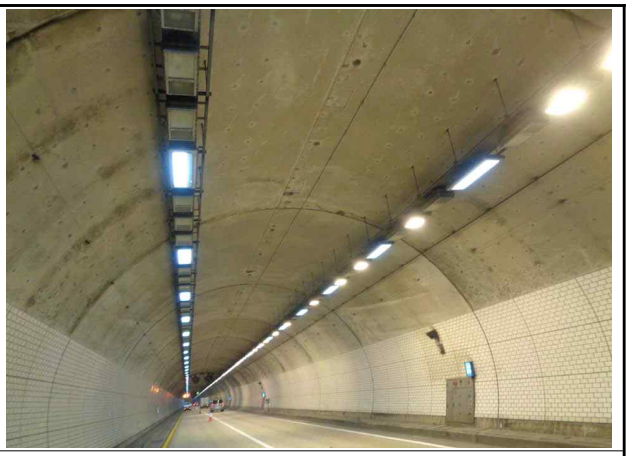
바. 부대시설

1) 현황

고정터널(부산방향)은 터널 중간부에 비상주차대(Span.No.068~070)와 피난연결통로(Span.No.069)가 위치하고 있으며, 제트팬은 비상주차대 기준 전반부 2대, 후반부 3대로 총 5대가 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]



[조명시설 전경]

[긴급전화 설치 전경]

[비상구 표자판 전경]

[Jet Fan 설치 전경]

[소화전 전경]

【사진 1.1.9】부대시설 현황

2) 조사결과 및 점검의견

Span.No.069에 시공된 피난연결통로 및 제트팬, 소화전, 조명시설 및 안전표지판 등 터널 내부의 부대 시설에 대한 조사 결과, 지속적인 유지관리로 관리상태가 양호한 것으로 조사되었으며 부대시설은 도로이용자의 편의 및 안전을 위해 설치한 시설로 주기적인 점검을 통해 양호한 상태가 유지되도록 하여야 한다.

사. 외관조사 결과

고정1터널(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
본선 터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	79.5m/51개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	330.8m/142개소	주입보수	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	30.0m/5개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	903.0m/106개소	주입보수	
		망상균열	0.2㎜이하	양생미흡, 건조수축	165.29㎡/19개소	표면처리	
		철근노출		정밀시공 미흡	0.01㎡/1개소	방청+단면보수	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	양생미흡/온도변화에 의한 수축 팽창	3.66㎡/80개소	제거 및 단면보수	
			재료분리	시공시 타설불량	25.00㎡/1개소	단면보수	
		표면오염		우수 유입	60.00㎡/1개소	표면처리	
		실런트 탈락		시공미흡	0.4m/2개소	실런트 마감	
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		온도 및 건조수축	4.7m/16개소	표면처리	
		균열(0.3㎜이상)		온도 및 건조수축	33.0/110개소	주입보수	
		타일균열/파손		라이닝 균열/외부 충격	200개소	지속관찰	
	공동구	균열	0.2㎜이하	온도 및 건조수축	5.5m/19개소	표면처리	
			0.3㎜이상	온도 및 건조수축	18.0m/60개소	주입보수	
		박락/파손		외부충격 등	9.66㎡/25개소	단면보수	
		공동구 덮개 파손		외부충격 등	158개소	재설치	
	배수시설	집수구 토사퇴적		이물질 및 토사유입	4.80㎡/18개소	청소실시	
	도로부 (포장면)	포장부 (LMC)	균열	차량반복하중 및 충격	103.8m/13개소	주입보수	
			망상균열	건조수축	48.00㎡/3개소	주의관찰	
			스캘링 (표면박리 포함)	공용시 제설재 사용/ 차량반복하중 및 충격	65.46㎡/9개소	주의관찰	
			스폴링	온도변화에 의한 신축거동	8.34㎡/55개소	주의관찰	
		길어깨부	균열	온도 및 건조수축	2.40m/4개소	주입보수	
			박락	차량반복하중 및 충격	0.05㎡/3개소	주의관찰	
부대 시설	피난연결통로	상태양호		-	-	-	

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
본선터널	라이닝 (천단부)	균열	0.2㎜이하	2.0m/2	79.5m/51개소	△	
			0.3㎜이상	41.5m/15	330.8m/142개소	△	
		보수부 재균열	0.2㎜이하	25.0m/5	30.0m/5개소	-	
			0.3㎜이상	916.0m/105	903.0m/106개소	-	
		망상균열	0.2㎜이하	-	165.29㎡/19개소	△	
		철근노출		-	0.01㎡/1개소	△	
		단면손상 (비철근노출)	박락/들뜸/파손	0.6㎡/19	3.66㎡/80개소	△	
			재료분리	-	25.00㎡/1개소	△	
		표면오염		25.0/1	60.00㎡/1개소	△	
		실런트 탈락			0.4m/2개소	△	
		제트팬 녹발생		10개소	-	▽	보수
	라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)		-	4.7m/16개소	△	
		균열(0.3㎜이상)		-	33.0/110개소	△	
		타일균열/파손		36개소	200개소	△	
	공동구	균열	0.2㎜이하	-	5.5m/19개소	△	
			0.3㎜이상	-	18.0m/60개소	△	
		박락/파손		2.53㎡/8	9.66㎡/25개소	△	
		공동구 덮개 파손		120개소	158개소	△	
	배수시설	집수구 토사퇴적		-	4.80㎡/18개소	△	
	도로부 (포장면)	균열		-	106.2m/17개소	△	
		망상균열		-	48.00㎡/3개소	△	
		스캘링 (표면박리 포함)		47.15㎡/7	65.51㎡/12개소	△	
		스폴링		2.91㎡/24	8.34㎡/55개소	△	
부대시설	피난연결통로	-		-	-	-	

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

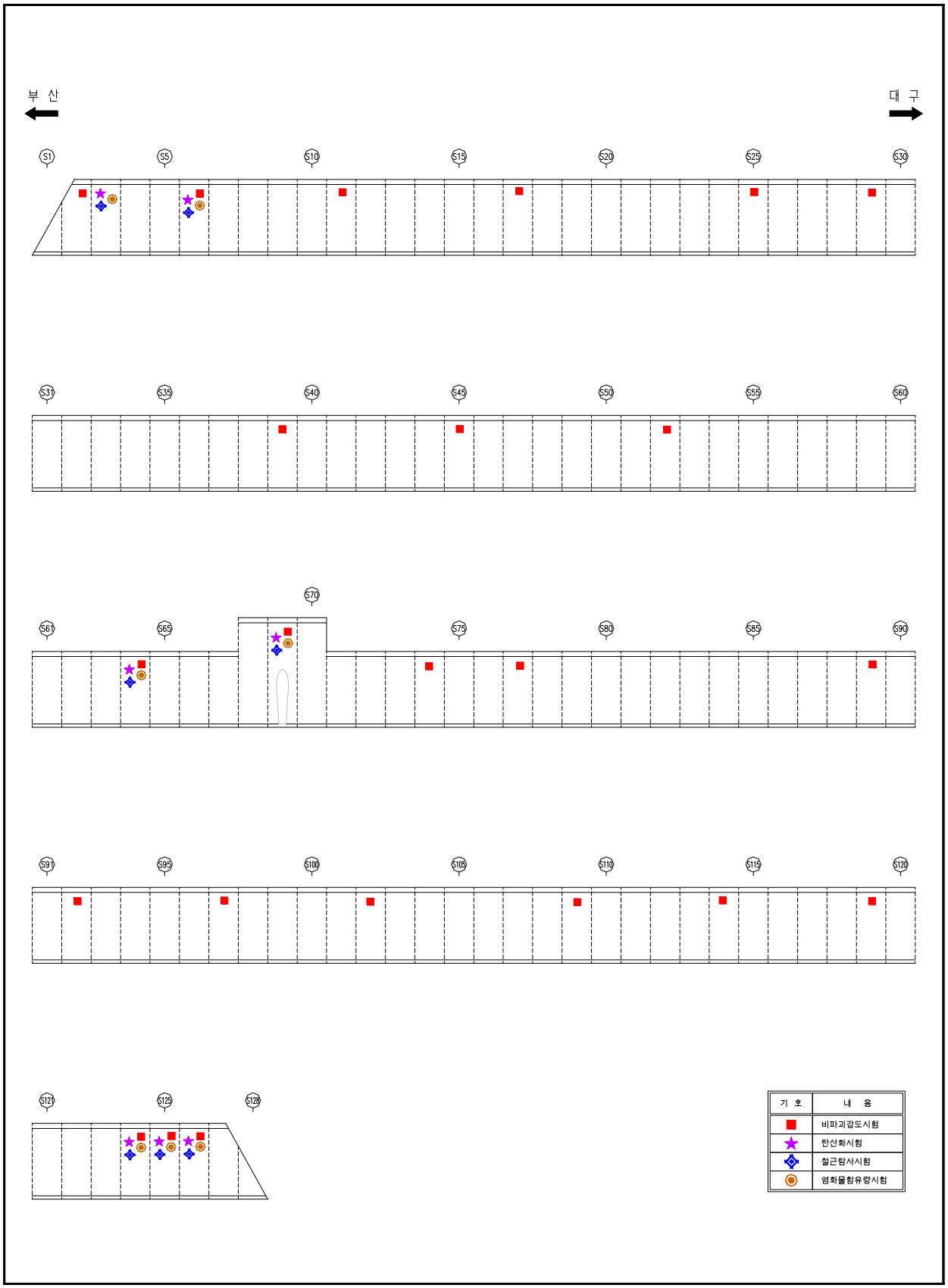
본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였으며, 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험, 균열깊이 조사 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 1.2.1】 고정1터널(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	7	종단 : 1 횡단 : 6	
비파괴 강도	반발경도법	• 총수량 = (총연장/100)×2	23	23	
	초음파법		23	23	
철근탐사시험		• 총연장 1,000미만 = 4개소 • 총연장 1,000이상 = 초 4개소 + 500m당 1개소 추가	5	7	
탄산화깊이 측정			5	7	
염화물함유량시험			5	7	
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】고정1터널(부산) 콘크리트 내구성조사 위치도

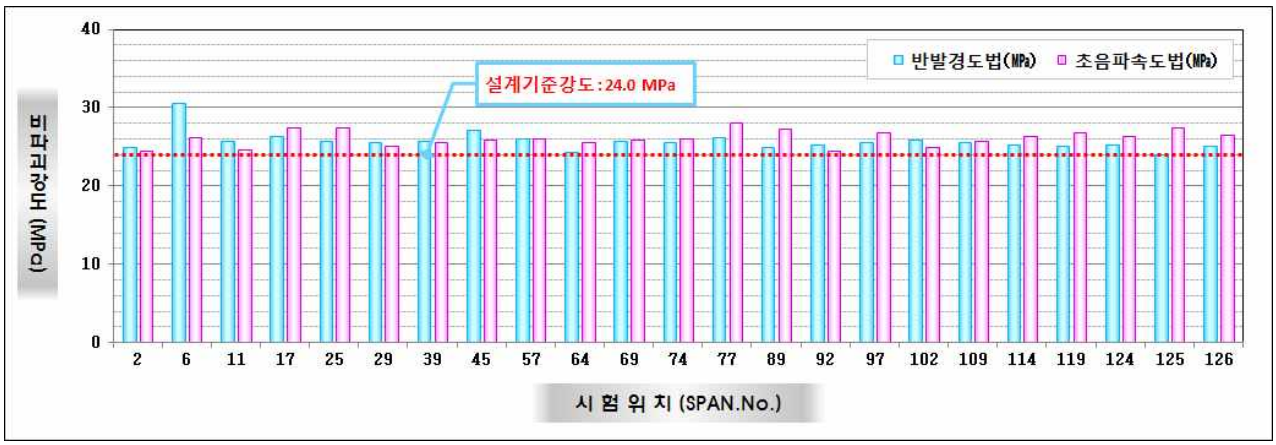
1.2.1 콘크리트 강도시험

고정1터널(부산)의 콘크리트 비파괴강도시험은 반발경도법 및 초음파속도법를 이용하여 터널 라이닝 천단 및 어깨부에 대한 총 23개소의 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. 2	44.0	3.903	23.9	26.0	25.0	21.5	27.5	24.5	24.0
	SPAN. 6	53.1	4.012	31.1	30.1	30.6	23.8	28.6	26.2	
	SPAN. 11	45.3	3.912	24.9	26.6	25.8	21.7	27.6	24.7	
	SPAN. 17	46.1	4.093	25.5	27.0	26.3	25.5	29.4	27.5	
	SPAN. 25	45.3	4.093	24.9	26.6	25.8	25.5	29.4	27.5	
	SPAN. 29	45.0	3.936	24.7	26.5	25.6	22.2	27.9	25.1	
	SPAN. 39	45.2	3.969	24.8	26.5	25.7	22.9	28.2	25.6	
	SPAN. 45	47.5	3.988	26.7	27.6	27.2	23.3	28.4	25.9	
	SPAN. 57	45.7	3.995	25.2	26.8	26.0	23.4	28.5	26.0	
	SPAN. 64	42.9	3.967	23.0	25.5	24.3	22.8	28.2	25.5	
	SPAN. 69	45.4	3.991	25.0	26.6	25.8	23.3	28.4	25.9	
	SPAN. 74	45.0	4.005	24.7	26.5	25.6	23.6	28.6	26.1	
	SPAN. 77	46.0	4.125	25.5	26.9	26.2	26.2	29.8	28.0	
	SAPN. 89	44.0	4.081	23.9	26.0	25.0	25.2	29.3	27.3	
	SPAN. 92	44.4	3.893	24.2	26.2	25.2	21.3	27.4	24.4	
	SPAN. 97	45.0	4.047	24.7	26.5	25.6	24.5	29.0	26.8	
	SPAN. 102	45.6	3.934	25.1	26.7	25.9	22.1	27.9	25.0	
	SPAN. 109	44.9	3.974	24.6	26.4	25.5	23.0	28.3	25.7	
	SPAN. 114	44.5	4.023	24.3	26.2	25.3	24.0	28.7	26.4	
	SPAN. 119	44.3	4.049	24.1	26.1	25.1	24.6	29.0	26.8	
	SPAN. 124	44.6	4.022	24.3	26.3	25.3	24.0	28.7	26.4	
	SPAN. 125	42.4	4.093	22.6	25.3	24.0	25.5	29.4	27.5	
	SPAN. 126	44.2	4.032	24.0	26.1	25.1	24.2	28.8	26.5	
평 균				24.9	26.6	25.7	23.7	28.6	26.1	
표 준 편 차				1.6	0.9	1.2	1.4	0.7	1.0	
변 동 계 수				6.4	3.4	4.9	5.8	2.3	3.9	



【그림 1.2.2】 평균압축강도 추정결과

- 각 시험법에 의한 비파괴강도 검토결과, 설계기준 대비 100~128%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 고정1터널(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	24.0 ~ 30.6	24.0	100 ~ 128
	초음파속도법	24.4 ~ 28.0	24.0	102 ~ 117

② 기 점검결과와의 비교

【표 1.2.4】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		'13년 정밀점검	금회('15년) 정밀안전진단	설계기준강도
반발경도법	라이닝	25.0~26.5	24.0~30.6	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 7개소의 철근탐사 시험을 실시하였으며, 측정결과는 다음과 같다.

【표 1.2.5】 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	SPAN. 3	횡방향철근	105	60	100	40.5	
		종방향철근	215	84	180	59.5	
	SPAN. 6	횡방향철근	101	82	100	40.5	
		종방향철근	196	89	180	59.5	
	SPAN. 64	횡방향철근	126	70	125	40.5	
		종방향철근	157	86	145	59.5	
	SPAN. 69	횡방향철근	113	30	125	40.5	
		종방향철근	122	50	145	59.5	
	SPAN. 124	횡방향철근	120	46	100	40.5	
		종방향철근	195	75	180	59.5	
	SPAN. 125	횡방향철근	98	96	100	40.5	
		종방향철근	191	97	180	59.5	
	SPAN. 126	횡방향철근	104	99	100	40.5	
		종방향철근	205	95	180	59.5	

【표 1.2.6】 철근탐사시험 결과분석

구 분	철근종류	측정치(㎜)		설계치(㎜)		비고
		배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
라이닝	횡방향철근	98~126	30~99	100, 125	40.5	
	종방향철근	122~215	50~97	145, 180	59.5	

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.

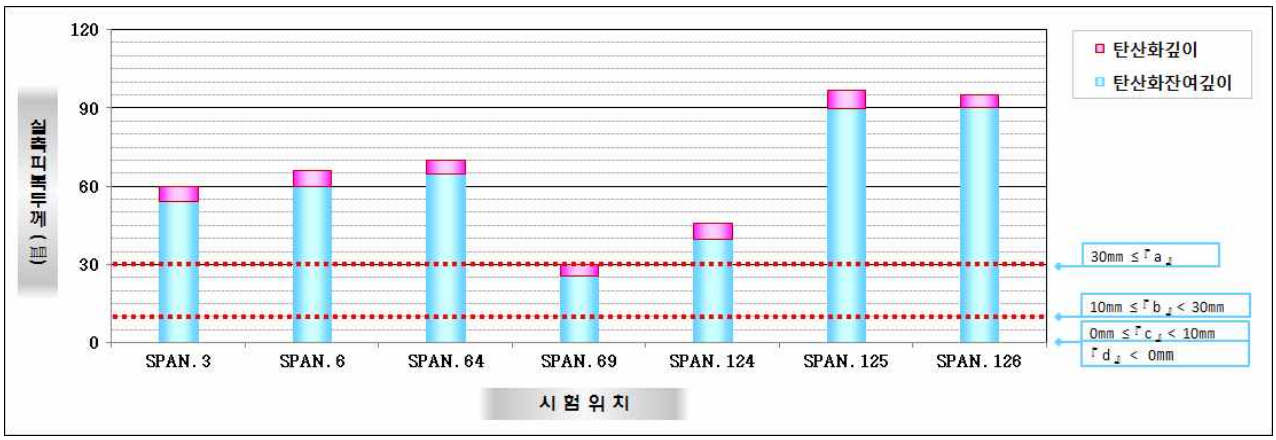
1.2.3 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 라이닝 천단 및 어깨부에 총 7개소의 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. 3	5.5	60.0	54.5	a	1.766	1,145	100년이상
	SPAN. 6	6.1	66.0	59.9	a	1.959	1,125	
	SPAN. 64	5.1	70.0	64.9	a	1.638	1,817	
	SPAN. 69	4.0	30.0	26.0	b	1.284	536	
	SPAN. 124	6.0	46.0	40.0	a	1.926	561	
	SPAN. 125	7.2	97.0	89.8	a	2.312	1,751	
	SPAN. 126	4.5	95.0	90.5	a	1.445	4,313	



【그림 1.2.3】탄산화깊이 측정결과

콘크리트 부재에 대한 탄산화 깊이 측정결과, 실측 피복두께와 비교시 탄산화 잔여깊이가 10.0㎜ 이상으로 측정되어 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2012. 10)』의 건전성 평가 기준에 의거 "a~b"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	4.0 ~ 5.0	4.0 ~ 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

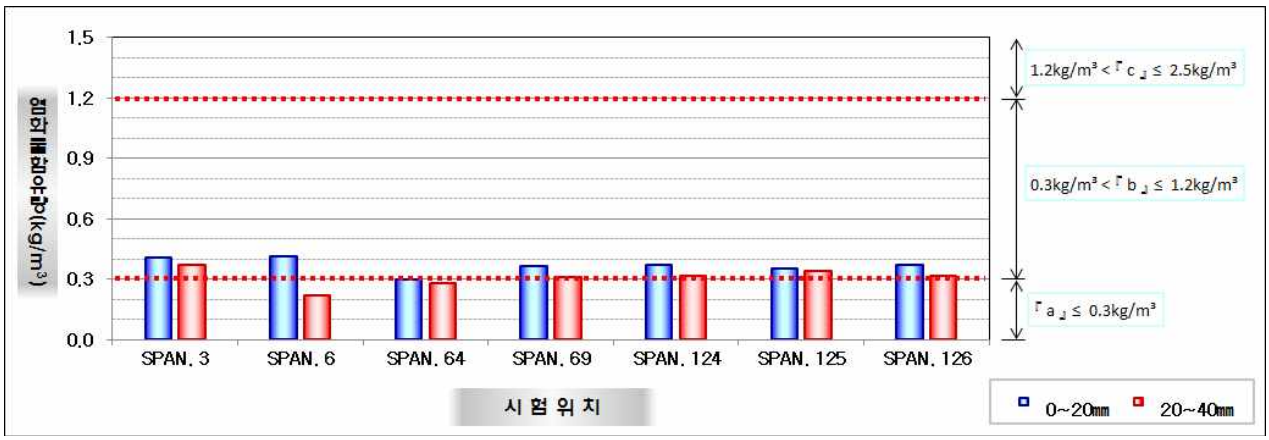
염화물함유량 시험은 라이닝 천단부 및 어깨부에 총 7개소에 대하여 깊이별 시료를 채취하여 시험을 실시하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

【표 1.2.9】 염화물함유량 시험결과 및 평가

시험위치		측정 깊이	염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl^-(%)	Cl^-(kg/㎥)		
라이닝	SPAN. 3	0~20㎜	0.0179	0.405	b	
		20~40㎜	0.0165	0.373	b	
	SPAN. 6	0~20㎜	0.0183	0.414	b	
		20~40㎜	0.0098	0.221	a	
	SPAN. 64	0~20㎜	0.0131	0.296	a	
		20~40㎜	0.0124	0.280	a	
	SPAN. 69	0~20㎜	0.0161	0.364	b	
		20~40㎜	0.0136	0.307	b	
	SPAN. 124	0~20㎜	0.0164	0.371	b	
		20~40㎜	0.0139	0.314	b	
	SPAN. 125	0~20㎜	0.0155	0.350	b	
		20~40㎜	0.0151	0.341	b	
	SPAN. 126	0~20㎜	0.0165	0.373	b	
		20~40㎜	0.0140	0.316	b	

※ 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. 3	0.3	200	52.6	66.1	76.1	60	
	SPAN. 69	0.3	200	56.1	62.4	48.7	30	
	SPAN. 124	0.3	200	53.6	66.7	74.1	46	
	SPAN. 125	0.3	200	49.5	70.4	101.1	97	

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

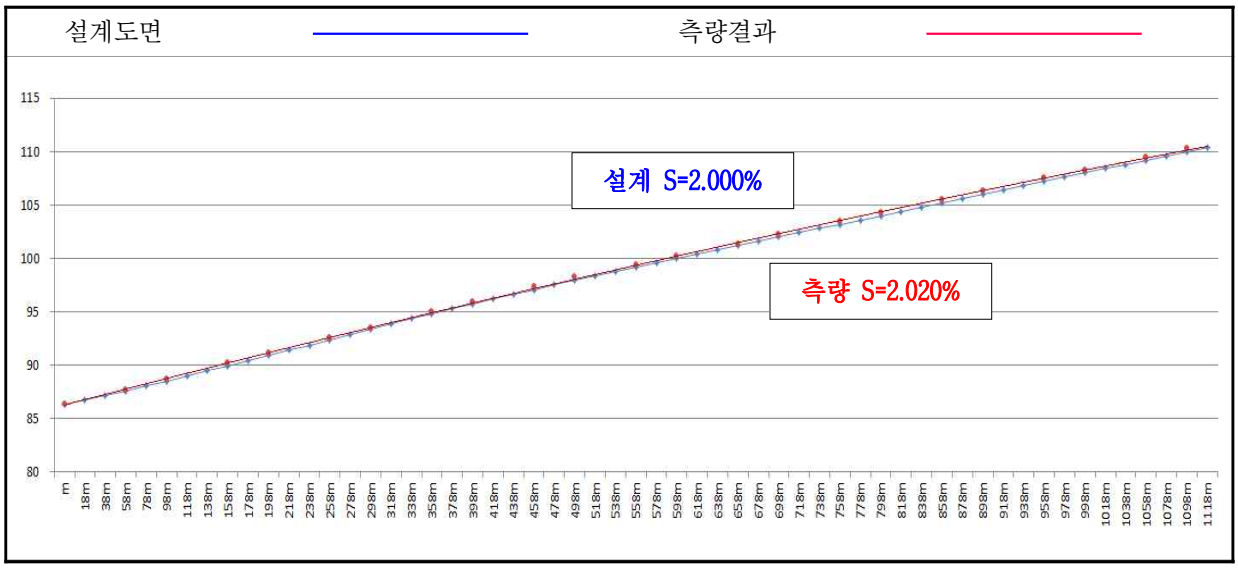
1.2.6 단면측량 결과

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

고정1터널(부산)의 종단선형은 시점에서 589m 까지 선형 변화구간으로 종단측량 결과, 대체로 설계치와 유사하게 측정되었고 종단경사 S=2.000%인 589m～종점부 구간은 실측치가 S=2.020%로 0.020%의 오차가 발생하였으나 오차범위가 경미하고, 오차에 따른 2차손상이 발견되지 않은 점을 고려할 때, 시공오차 및 측정오차 등에 의해 발생된 것으로 판단된다.(종단측량은 중앙차선(2차로)을 기준으로 레벨측량을 실시함)

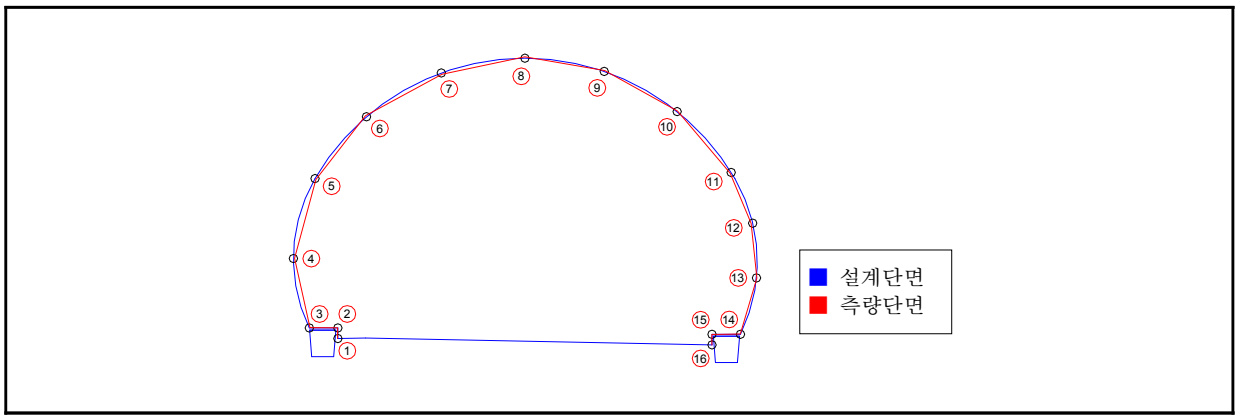
【표 1.2.11】 고정1터널(부산) 종단측량 결과



나. 내공변위 측량

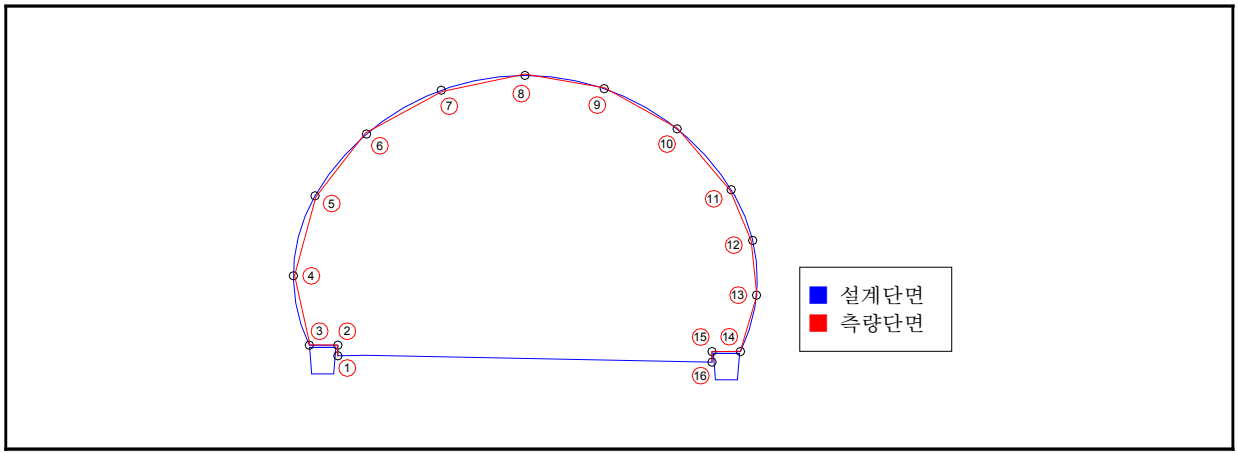
내공변위 측량 결과 준공도면과 상이하나 차량통행에는 지장이 없는 상태이다. 또한, 현장조사시 변위로 인한 균열이나 내공변위에 따른 결함이 발견되지 않았으므로 공용중 내공단면의 변화보다는 시공오차에 따른 영향으로 판단된다.

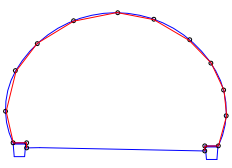
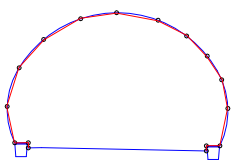
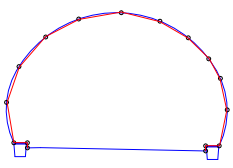
【표 1.2.12】 고정1터널(부산) 내공변위 측량 결과



시험위치	S25				S35				S57			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.4053	0.0620	-4.4000	0.0620	-4.4053	0.0623	-4.4000	0.0620	0.0671	0.0671
②	-4.4000	0.3120	-4.4053	0.3120	-4.4000	0.3120	-4.4053	0.3152	-4.4000	0.3120	0.3188	0.3188
③	-5.0700	0.3118	-5.0572	0.3118	-5.0700	0.3120	-5.0802	0.3078	-5.0700	0.3118	0.3367	0.3367
④	-5.4458	1.9570	-5.4181	1.9570	-5.4453	2.0203	-5.4601	2.0177	-5.4422	2.1256	2.1275	2.1275
⑤	-4.9383	3.8511	-4.9177	3.8511	-4.8979	3.9195	-4.8865	3.9144	-4.8685	3.9678	3.9610	3.9610
⑥	-3.7270	5.3154	-3.7484	5.3154	-3.8085	5.2433	-3.8109	5.2610	-3.7515	5.2938	5.2921	5.2921
⑦	-1.9669	6.3520	-1.9513	6.3520	-1.8223	6.4029	-1.8170	6.3873	-1.9883	6.3441	6.3656	6.3656
⑧	0.0200	6.7020	0.0180	6.7020	0.0180	6.7020	-0.0025	6.7165	0.0350	6.7019	6.6922	6.6922
⑨	1.8647	6.3885	1.8767	6.3885	1.9460	6.3602	1.9284	6.3620	1.8319	6.4003	6.4236	6.4236
⑩	3.5803	5.4378	3.5911	5.4378	3.6746	5.3601	3.6876	5.3341	3.7882	5.2617	5.2256	5.2256
⑪	4.8515	3.9959	4.8270	3.9959	4.7986	4.0800	4.8211	4.0886	4.8515	3.9959	4.0008	4.0008
⑫	5.3574	2.7945	5.3208	2.7945	5.3450	2.8495	5.3284	2.8370	5.3586	2.7941	2.7807	2.7807
⑬	5.4468	1.4981	5.4558	1.4981	5.4468	1.4981	5.4353	1.4912	5.4404	1.4379	1.4256	1.4256
⑭	5.0700	0.1620	5.0654	0.1620	5.0700	0.1620	5.0740	0.1579	5.0700	0.1620	0.1700	0.1700
⑮	4.4000	0.1620	4.3961	0.1620	4.4000	0.1620	4.4026	0.1593	4.4000	0.1620	0.1687	0.1687
⑯	4.4000	0.0880	4.3979	-0.0880	4.4000	-0.0880	4.3960	-0.0879	4.4000	-0.0880	-0.0865	-0.0865
단면												

【표 1.2.12】 고정1터널(부산) 내공변위 측량 결과(계속)



시험위치	S75				S91				S114			
	설계단면		측정단면		설계단면		측정단면		설계단면		측정단면	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
①	-4.4000	0.0620	-4.4030	0.0580	-4.4000	0.0620	-4.3890	0.0671	-4.4000	0.0620	-4.3933	0.0526
②	-4.4000	0.3120	-4.4051	0.3120	-4.4000	0.3120	-4.3933	0.3203	-4.4000	0.3120	-4.4021	0.3163
③	-5.0700	0.3120	-5.0586	0.3042	-5.0700	0.3118	-5.0790	0.3063	-5.7000	0.3120	-5.0685	0.3196
④	-5.4446	1.8628	-5.4111	1.8569	-5.4432	2.0978	-5.4676	2.0943	-5.4305	2.2969	-5.4015	2.2938
⑤	-4.9575	3.8580	-4.9218	3.8302	-4.8512	3.9964	-4.8630	4.0097	-4.8150	4.0539	-4.7961	4.0343
⑥	-3.8741	5.1838	-3.8806	5.1967	-3.6413	5.3879	-3.6192	5.3763	-3.4948	5.5055	-3.5014	5.5237
⑦	-2.0811	6.3086	-2.0815	6.2844	-1.8108	6.4068	-1.8157	6.4268	-1.8653	6.3883	-1.8592	6.3697
⑧	0.0998	6.7011	0.0633	6.7119	-0.0357	6.7019	-0.0350	6.6820	0.2354	6.6971	0.2404	6.7292
⑨	1.8837	6.3825	1.8821	6.3604	2.0148	6.3348	2.0028	6.3070	2.1445	6.2834	2.1341	6.2623
⑩	3.6567	5.3751	3.6256	5.3427	3.4237	5.5597	3.4379	5.5858	3.5426	5.4680	3.5311	5.4527
⑪	4.7014	4.2264	4.7183	4.2291	4.4442	4.5724	4.4187	4.5465	4.5522	4.4337	4.5742	4.4439
⑫	5.3304	2.9051	5.3461	2.9024	5.1588	3.4061	5.1789	3.4177	5.1292	3.4747	5.1082	3.4577
⑬	5.4582	1.6410	5.4807	1.6393	5.4640	1.9945	5.4475	1.9969	5.4653	1.9283	5.4433	1.9139
⑭	5.0700	0.1620	5.0776	0.1567	5.0700	0.1620	5.0665	0.1679	5.0700	0.1620	5.0878	0.1652
⑮	4.4000	0.1620	4.4072	0.1514	4.4000	0.1620	4.3990	0.1693	4.4000	0.1620	4.3961	0.1689
⑯	4.4000	-0.0880	4.3961	-0.0855	4.4000	-0.0880	4.3961	-0.0789	4.4000	-0.0880	4.3961	-0.0789
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>24.0～30.6</td><td colspan="2" rowspan="2">24.0</td><td>100 ～ 128</td></tr>
<tr><td>초음파속도법</td><td>24.4～28.0</td><td>102 ～ 117</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>98～126</td><td>30～99</td><td>100, 125</td><td>40.5</td></tr>
<tr><td>종방향철근</td><td>122～215</td><td>50～97</td><td>145, 180</td><td>59.5</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>4.0～7.2</td><td>30～97</td><td>26～90.5</td><td>a～b</td><td>100년 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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>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>0.0098～0.0183</td><td colspan="2">0.221～0.414</td><td>a～b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 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>균열폭</td><td colspan="2">균열깊이</td><td>피복두께</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>라이닝</td><td>천단, 어깨부</td><td>0.3</td><td colspan="2">48.7～101.1</td><td>30～97</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="5">■ 균열심도가 철근피복두께를 초과하거나 근접한 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>25.0～26.5</td><td>24.0～30.6</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>4.0 ～ 5.0</td><td>4.0 ～ 7.2</td><td>a～b</td></tr>
<tr><td colspan="2">검토의견</td><td colspan="3">■ 탄산화 잔여깊이가 10㎜이상인 “a～b”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

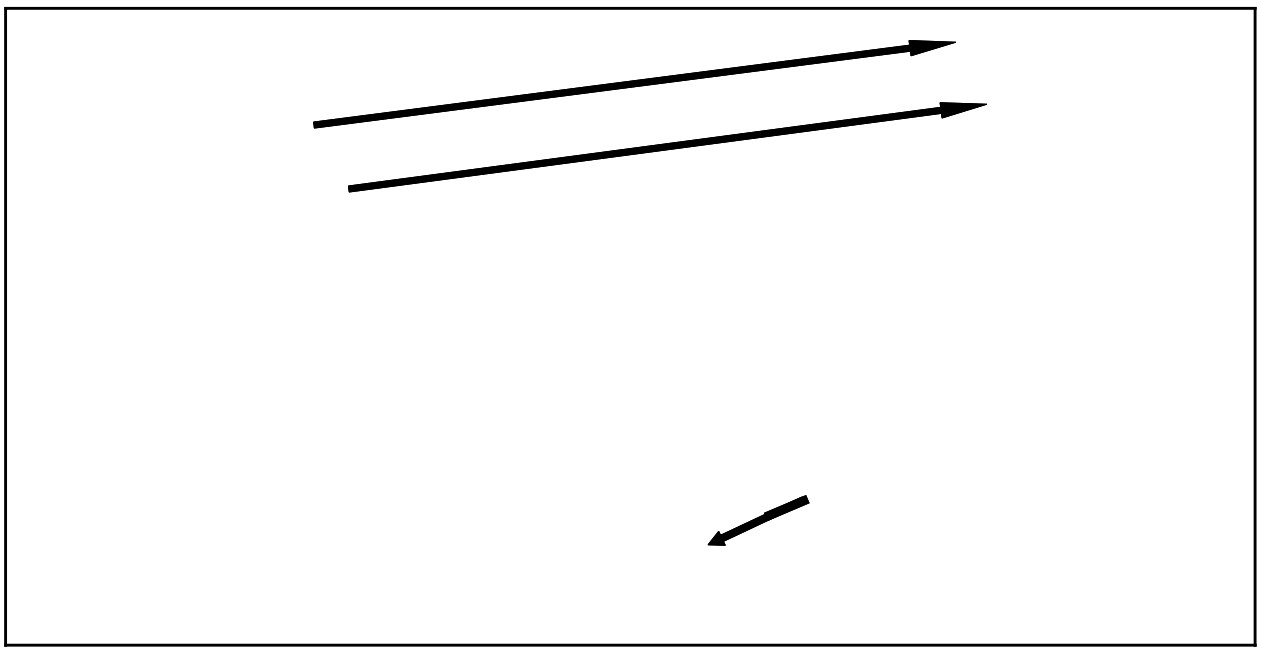
본 G.P.R 탐사는 고정1터널(부산)에 대하여 콘크리트 라이닝의 두께, 라이닝 배면의 공동 유무와 위치, 강지보공 설치현황 등을 조사하기 위하여 실시하였다. 탐사결과는 준공도서와 비교 분석하여 시공의 적정성 여부를 판단하였으며 이상반사파 구간의 두께 및 범위를 제시하여 필요시 보수, 보강 대책을 수립하는 등 터널의 유지관리에 필요한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1.3.1 조사구간 선정

고정1터널(부산) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 150m마다 횡방향 탐사를 8개소 실시하였다. 본 탐사에 적용된 안테나의 중심주파수는 약 1700㎒이다.

【표 1.3.1】탐사구간 및 연장

구 분		탐사구간	탐사연장	비고
종측선	천단부	S4 ~ S126	1,082m	
	어깨부	S5 ~ S126	1,075m	2차로측
횡측선	1차선 어깨부~ 2차선 어깨부		34m / 8개소	



【그림 1.3.1】터널 측선도

1.3.2 콘크리트 라이닝 두께 분석

탐사결과 라이닝 콘크리트 두께분포는 지보패턴 T-2에서 270㎜~790㎜, T-3에서 200㎜~780㎜, T-4에서 230㎜~700㎜, T-5에서 290㎜~690㎜로 조사되었으며 탐사된 모든 구간에서 설계 라이닝 두께를 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

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 라이닝 두께 부족구간을 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께는 양호한 것으로 조사되었다.

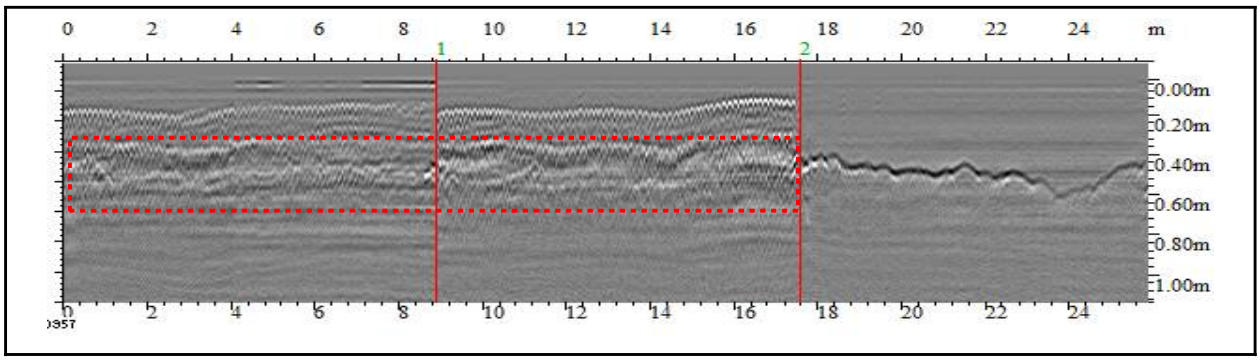
【표 1.3.2】 측선별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

구분		라이닝 두께(㎜)			비고
		측정치	설계치	허용치	
종측선	천단부	230 ~ 790	300	200	라이닝 두께 양호
	어깨부	220 ~ 670			
횡측선		200 ~ 470			

【표 1.3.3】 지보패턴별 콘크리트 라이닝 두께 측정결과

지보패턴		라이닝 두께(㎜)			Span No.	비고
		측정치	설계치	허용치		
T-2	종측선(천단부)	300 ~ 790	300	200	S66~S101	-
	종측선(어깨부)	270 ~ 520				
	횡측선	290 ~ 470				
T-3	종측선(천단부)	230 ~ 780	300	200	S11~S47, S62~S65, S102~S110	-
	종측선(어깨부)	220 ~ 550				
	횡측선	200 ~ 430				
T-4	종측선(천단부)	310 ~ 700	300	200	S10, S48~S54, S61, S111~S116	-
	종측선(어깨부)	230 ~ 670				
T-5	종측선(천단부)	360 ~ 690	300	200	S8~S9, S55~S60, S117~S119	-
	종측선(어깨부)	290 ~ 400				
T-6	-	-	300	200	S6, S120	철근보강
개착구간	-	-	300	200	S4~S6, S121~S126	철근보강

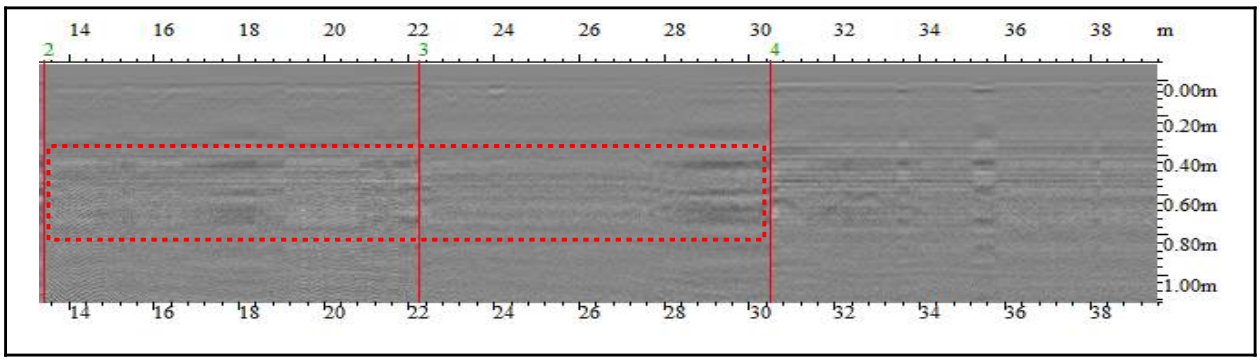
다음은 S9~S11 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로써, 콘크리트 라이닝의 경계면이 철근의 간섭으로 인하여 나타나지 않는 것으로 탐사되었다.



【그림 1.3.2】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S9~S11)

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 S51~S53 구간의 천단부에 대한 G.P.R 탐사결과로 시공상태가 양호하여 콘크리트 라이닝과 숏크리트 경계면이 밀착되어 경계면의 반사파가 미약한 경우이다.



【그림 1.3.3】 콘크리트 라이닝 두께 탐사결과(S51~S53)

다음【표 1.3.4】~【표 1.3.6】은 스판별 천단부 종측선, 어깨부 종측선, 횡측선에 대한 콘크리트 라이닝 두께 측정결과이며 G.P.R 탐사 상세데이터는 부록에 첨부하였다.

【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S4	-	철근배근	S5	-	철근배근
S6	-	철근배근	S7	-	철근배근
S8	-	철근배근	S9	-	철근배근
S10	-	철근배근	S11	380 ~ 590	무근
S12	310 ~ 770	무근	S13	390 ~ 580	무근
S14	440 ~ 720	무근	S15	500 ~ 660	무근
S16	350 ~ 540	무근	S17	370 ~ 650	무근
S18	230 ~ 530	무근	S19	530 ~ 680	무근
S20	380 ~ 670	무근	S21	680 ~ 750	무근
S22	530 ~ 670	무근	S23	390 ~ 650	무근
S24	570 ~ 720	무근	S25	390 ~ 620	무근
S26	400 ~ 630	무근	S27	350 ~ 650	무근
S28	550 ~ 720	무근	S29	270 ~ 660	무근
S30	480 ~ 660	무근	S31	440 ~ 720	무근
S32	390 ~ 610	무근	S33	620 ~ 710	무근
S34	480 ~ 680	무근	S35	530 ~ 760	무근
S36	620 ~ 690	무근	S37	580 ~ 680	무근
S38	630 ~ 690	무근	S39	430 ~ 700	무근
S40	580 ~ 780	무근	S41	590 ~ 650	무근
S42	450 ~ 690	무근	S43	650 ~ 660	무근
S44	-	무근	S45	-	무근
S46	-	무근	S47	-	무근
S48	-	철근배근	S49	580 ~ 600	무근
S50	580 ~ 650	무근	S51	-	무근
S52	~	무근	S53	580 ~ 690	무근
S54	550 ~ 690	무근	S55	420 ~ 630	무근
S56	520 ~ 660	무근	S57	580 ~ 690	무근
S58	480 ~ 640	무근	S59	360 ~ 620	무근
S60	380 ~ 590	무근	S61	350 ~ 650	무근
S62	350 ~ 650	무근	S63	340 ~ 540	무근
S64	-	철근배근	S65	450 ~ 510	무근
S66	420 ~ 500	무근	S67	470 ~ 560	무근
S68	-	철근배근	S69	-	철근배근
S70	-	철근배근	S71	470 ~ 570	무근
S72	410 ~ 610	무근	S73	450 ~ 590	무근
S74	370 ~ 710	무근	S75	510 ~ 730	무근
S76	400 ~ 610	무근	S77	500 ~ 630	무근
S78	410 ~ 660	무근	S79	530 ~ 700	무근
S80	-	철근배근	S81	350 ~ 690	무근
S82	350 ~ 590	무근	S83	380 ~ 630	무근
S84	350 ~ 510	무근	S85	540 ~ 690	무근
S86	410 ~ 600	무근	S87	360 ~ 640	무근
S88	470 ~ 660	무근	S89	360 ~ 620	무근
S90	300 ~ 690	무근	S91	420 ~ 670	무근

【표 1.3.4】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-천단부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S92	380 ~ 790	무근	S93	390 ~ 690	무근
S94	300 ~ 570	무근	S95	350 ~ 580	무근
S96	-	철근배근	S97	340 ~ 620	무근
S98	330 ~ 560	무근	S99	420 ~ 610	무근
S100	470 ~ 630	무근	S101	470 ~ 680	무근
S102	310 ~ 540	무근	S103	370 ~ 540	무근
S104	380 ~ 640	무근	S105	430 ~ 610	무근
S106	450 ~ 570	무근	S107	400 ~ 550	무근
S108	460 ~ 580	무근	S109	450 ~ 580	무근
S110	470 ~ 620	무근	S111	420 ~ 570	무근
S112	-	철근배근	S113	-	무근
S114	550 ~ 650	무근	S115	380 ~ 700	무근
S116	310 ~ 610	무근	S117	550 ~ 660	무근
S118	-	철근배근	S119	-	철근배근
S120	-	철근배근	S121	-	철근배근
S122	-	철근배근	S123	-	철근배근
S124	-	철근배근	S125	-	철근배근
S126	-	철근배근			

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

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S5	-	철근배근	S6	-	철근배근
S7	-	철근배근	S8	-	철근배근
S9	-	철근배근	S10	530 ~ 670	무근
S11	300 ~ 500	무근	S12	300 ~ 470	무근
S13	310 ~ 510	무근	S14	410 ~ 520	무근
S15	390 ~ 500	무근	S16	230 ~ 530	무근
S17	260 ~ 500	무근	S18	-	무근
S19	-	무근	S20	-	무근
S21	390 ~ 480	무근	S22	420 ~ 530	무근
S23	370 ~ 520	무근	S24	420 ~ 510	무근
S25	350 ~ 530	무근	S26	470 ~ 550	무근
S27	290 ~ 410	무근	S28	290 ~ 300	무근
S29	290 ~ 340	무근	S30	240 ~ 320	무근
S31	280 ~ 350	무근	S32	320 ~ 420	무근
S33	360 ~ 420	무근	S34	-	무근
S35	-	무근	S36	390 ~ 470	무근
S37	260 ~ 370	무근	S38	280 ~ 320	무근
S39	270 ~ 420	무근	S40	-	무근
S41	220 ~ 290	무근	S42	270 ~ 290	무근

【표 1.3.5】 콘크리트 라이닝 두께(종측선-어깨부, 계속)

Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부	Span No.	두께분포(㎜)	철근배근여부
S43	230 ~ 250	무근	S44	230 ~ 340	무근
S45	330 ~ 340	무근	S46	270 ~ 290	무근
S47	290 ~ 310	무근	S48	290 ~ 310	무근
S49	260 ~ 290	무근	S50	230 ~ 310	무근
S51	240 ~ 280	무근	S52	280 ~ 310	무근
S53	330 ~ 340	무근	S54	270 ~ 320	무근
S55	340 ~ 390	무근	S56	320 ~ 340	무근
S57	290 ~ 300	무근	S58	-	무근
S59	320 ~ 340	무근	S60	300 ~ 340	무근
S61	-	무근	S62	280 ~ 320	무근
S63	330 ~ 340	무근	S64	-	철근배근
S65	-	무근	S66	-	무근
S67	-	무근	S68	-	철근배근
S69	-	철근배근	S70	-	철근배근
S71	370 ~ 440	무근	S72	370 ~ 390	무근
S73	370 ~ 410	무근	S74	-	무근
S75	-	무근	S76	-	무근
S77	310 ~ 320	무근	S78	290 ~ 340	무근
S79	310 ~ 360	무근	S80		철근배근
S81	270 ~ 380	무근	S82	310 ~ 340	무근
S83	310 ~ 350	무근	S84	300 ~ 310	무근
S85	310 ~ 480	무근	S86	340 ~ 360	무근
S87	310 ~ 500	무근	S88	-	무근
S89	-	무근	S90	-	무근
S91	360 ~ 450	무근	S92	310 ~ 470	무근
S93	390 ~ 460	무근	S94	390 ~ 520	무근
S95	410 ~ 460	무근	S96	-	철근배근
S97	-	무근	S98	-	무근
S99	420 ~ 500	무근	S100	280 ~ 410	무근
S101	410 ~ 440	무근	S102	390 ~ 420	무근
S103	360 ~ 420	무근	S104	-	무근
S105	-	무근	S106	390 ~ 490	무근
S107	440 ~ 480	무근	S108	-	무근
S109	430 ~ 530	무근	S110	400 ~ 470	무근
S111	-	무근	S112	-	철근배근
S113	390 ~ 420	무근	S114	380 ~ 390	무근
S115	380 ~ 420	무근	S116	300 ~ 450	무근
S117	300 ~ 400	무근	S118	-	철근배근
S119	-	철근배근	S120	-	철근배근
S121	-	철근배근	S122	-	철근배근
S123	-	철근배근	S124	-	철근배근
S125	-	철근배근	S126	-	철근배근

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

【표 1.3.6】 콘크리트 라이닝 두께(횡측선)

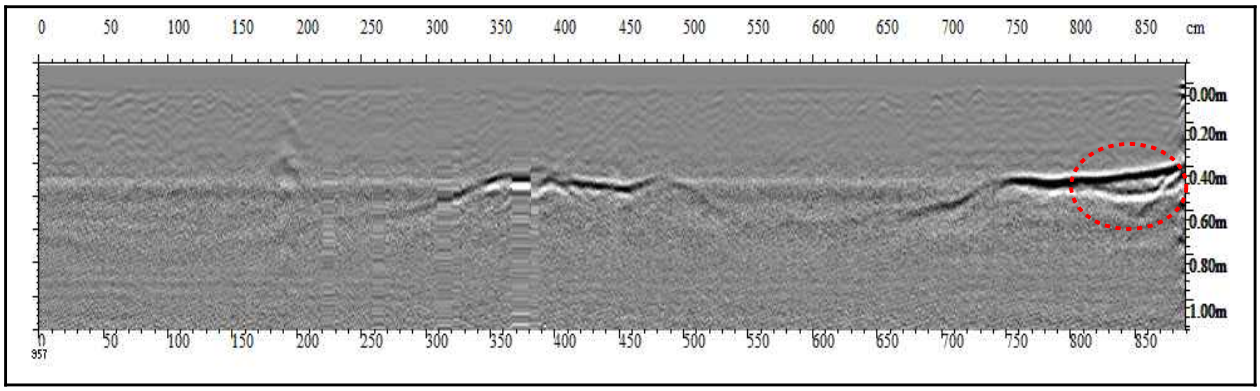
Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부	Span No. (시점연장)	두께분포 (㎜)	철근배근여부
S5(24.0m)	-	철근배근	S23(186.0m)	200 ~ 430	무근
S34(285.0m)	240 ~ 390	무근	S45(380.0m)	250 ~ 380	무근
S68(580.0m)	-	철근배근	S87(760.0m)	290 ~ 470	무근
S108(949.0m)	320 460	무근	S126(1100.0m)	-	철근배근

※ 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 대부분 콘크리트 라이닝과 숏크리트 사이의 경계부에서 발생된 들뜸현상으로 판단된다.

【그림 1.3.4】은 S105구간 천단부에 대한 종측선 탐사결과이며 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~50㎜ 두께, 0.6m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.03%로 조사되었다. 경계부 들뜸으로 추정되는 구간에서 균열 집중 등의 연관 문제점은 관찰되지 않았으며 현 상태에서 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다. 이상반사파가 탐지된 위치는 G.P.R 탐사결과 부록에 도식화하여 수록하였다.



【그림 1.3.4】 이상반사파 탐사결과(S105)

【표 1.3.7】 이상반사파 탐사구간

구 분	탐사연장	이상반사파 탐사구간		지보패턴
		Span No.	조사연장	
종측선(천단부)	1,082m	S105	0.6m	T-3
종측선(어깨부)	1,075m	-	-	
횡측선	34m	-	-	
합계	2,191m	0.6m		0.03%

1.3.4 강지보공

준공설계도상 강지보공은 지보패턴 T-4, T-5, T-6구간에 시공되어 있으며, 아래 표에서와 같이 강지보공이 설치된 구간은 연장대비 21.91%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 1.3.8】강지보공 탐사구간

지보패턴	Span No.	준공도		강지보공탐사(m)		비고
		연장(m)	연장비(%)	설계간격	탐사간격	
T-4	S10	8	0.72	1.5	-	
	S48~S54	63	5.64	1.5	1.29~1.42	
	S61	9	0.81	1.5	-	
	S111~S116	54	4.83	1.5	1.00~1.16	
T-5	S8~S9	16	1.43	1.2	-	
	S55~S60	54	4.83	1.2	1.07~1.19	
	S117~S119	25	2.24	1.2	-	
T-6	S6	8	0.72	0.6	-	
	S120	8	0.72	0.6	-	
합계		245	21.91	-		

1.3.5 G.P.R 탐사결과

본 터널에 대한 G.P.R 탐사결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 대상 터널의 콘크리트 라이닝의 허용두께 200㎜를 기준으로 라이닝 두께 부족구간을 분석한 결과 콘크리트 라이닝 두께는 전구간 허용기준을 만족하는 상태로 조사되었다.

2) 콘크리트 라이닝 콘크리트 두께분포는 천단부 종측선에서 230㎜~790㎜, 어깨부 종측선에서 220㎜~670㎜, 횡측선에서 200㎜~470㎜로 나타났다.

3) 이상반사파 탐사결과 S105구간 천단부에서 경계부 들뜸으로 추정되는 이상반사파가 20~50㎜ 두께, 0.6m 연장으로 탐지되었으며 연장률은 0.03%로 조사되었다.

4) 터널에 대한 G.P.R 탐사결과 전반적으로 라이닝 배면의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 다만, 어깨부보다 중앙천단부에서 상대적으로 이상반사파 탐지구간이 발생한 것으로 나타나 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

제 2장 시설물의 상태평가

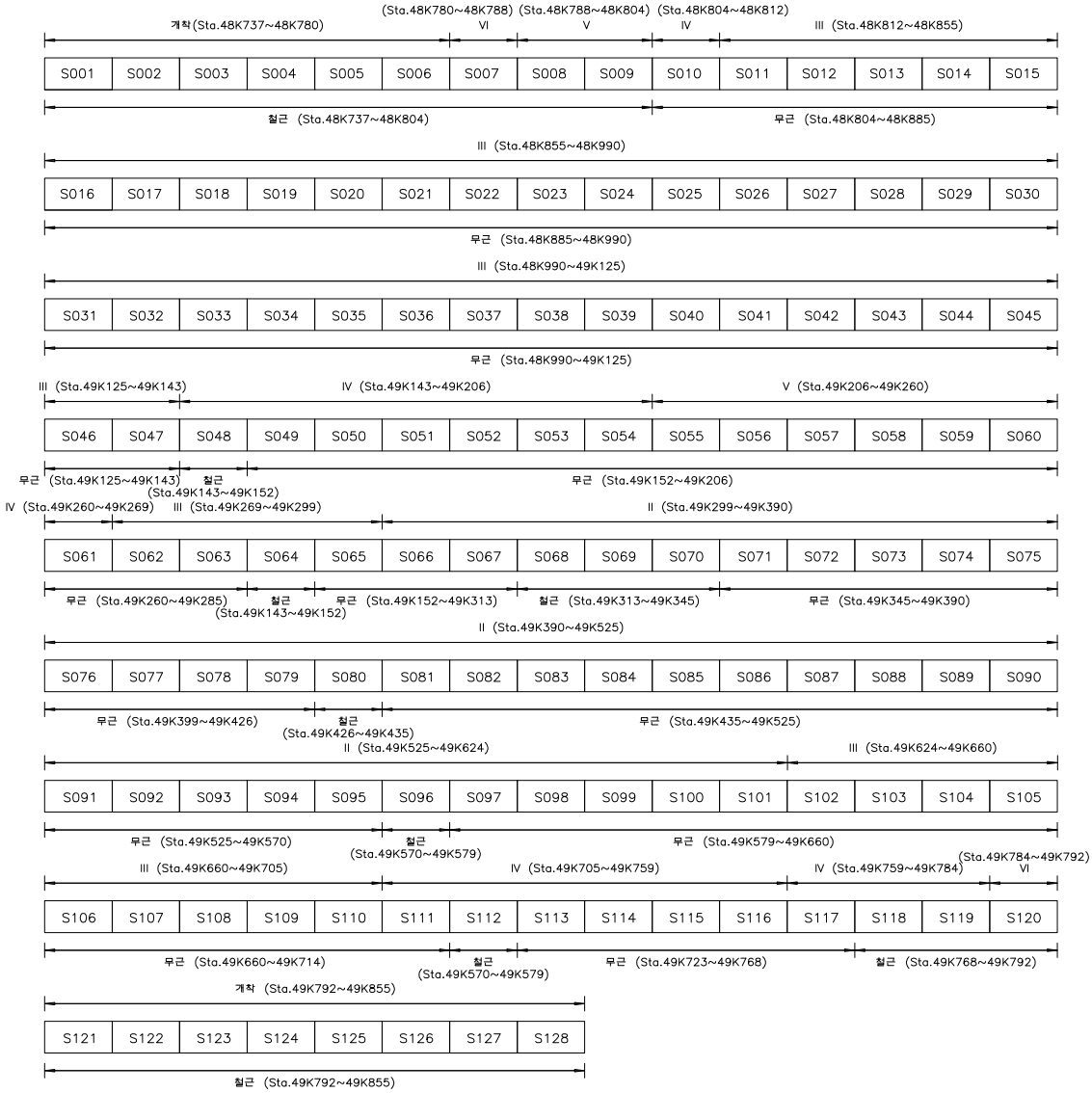
2.1 구간분할

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. 고정1터널(부산)은 NATM 형식의 터널로서 128Span으로 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)

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	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S3	개착	0.1~0.3	c	-	a	1/6미만	0.01	c	
S4	개착	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S5	개착	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S6	개착	0.3	c	-	a	-	-	a	
S7	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S8	철근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S9	철근	0.2	b	-	a	-	-	a	
S10	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S11	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S12	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S13	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S14	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S15	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S16	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S17	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S18	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S19	무근	0.2~0.4	c	-	a	1/6미만	0.04	c	
S20	무근	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S21	무근	0.3~0.7	c	-	a	-	-	a	
S22	무근	0.2~0.7	c	-	a	-	-	a	
S23	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S24	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S25	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S26	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S27	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S28	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S29	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S30	무근	0.3~0.5	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	
S31	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S32	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S33	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S34	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S35	무근	0.1~0.7	c	-	a	-	-	a	
S36	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S37	무근	0.2~0.7	c	-	a	-	-	a	
S38	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S39	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S40	무근	0.3~0.7	c	-	a	-	-	a	
S41	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S42	무근	0.3~0.7	c	-	a	-	-	a	
S43	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S44	무근	0.1~0.3	c	-	a	-	-	a	
S45	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S46	무근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S47	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S48	철근	0.3~0.8	e	-	a	-	-	a	
S49	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S50	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S51	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S52	무근	0.4~0.7	c	-	a	-	-	a	
S53	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S54	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S55	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S56	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S57	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S58	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S59	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S60	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S61	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S62	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S63	무근	0.3~0.5	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	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S65	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S66	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S67	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S68	철근	0.3~0.5	d	-	a	-	-	a	
S69	철근	0.3~0.5	d	-	a	-	-	a	
S70	철근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S71	무근	0.3~1.0	d	-	a	-	-	a	
S72	무근	0.4~0.5	c	-	a	-	-	a	
S73	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S74	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S75	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S76	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S77	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S78	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S79	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S80	철근	0.3~0.4	c	-	a	-	-	a	
S81	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S82	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S83	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S84	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S85	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S86	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S87	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S88	무근	0.7	c	-	a	-	-	a	
S89	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S90	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S91	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S92	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S93	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S94	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S95	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S96	철근	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	
S97	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S98	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S99	무근	0.3	c	-	a	-	-	a	
S100	무근	0.2~0.3	c	-	a	-	-	a	
S101	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S102	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S103	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S104	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S105	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S106	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S107	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S108	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S109	무근	0.3~0.5	c	-	a	-	-	a	
S110	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S111	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S112	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S113	무근	0.2~0.5	c	-	a	-	-	a	
S114	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S115	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S116	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S117	무근	0.5	c	-	a	-	-	a	
S118	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S119	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S120	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S121	개착	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S122	개착	0.2~0.4	c	-	a	-	-	a	
S123	개착	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S124	개착	0.3	c	-	a	-	-	a	
S125	개착	0.3	c	-	a	-	-	a	
S126	개착	0.1~0.2	b	-	a	-	-	a	
S127	개착	0.1~0.5	c	-	a	-	-	a	
S128	개착	0.5	c	-	a	-	-	a	
결과		c (6.583)		a (0.000)		c (0.007)			

【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	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S3	개착	137.2	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	54.4	a	0.405	b	
S4	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S5	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S6	개착	156.8	-	a	25미만	c	-	a	15.9	d	-	a	59.9	a	0.414	b	
S7	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S8	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S9	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S10	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S11	무근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S12	무근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S13	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S14	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S15	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S16	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S17	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S18	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S19	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S20	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S21	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	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	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S28	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S29	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S30	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	
S31	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S32	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S33	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S34	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S35	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S36	무근	176.4	-	a	25미만	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S37	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S43	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S48	철근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S49	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S50	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S51	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S52	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S53	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S54	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S55	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S56	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S57	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S58	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S59	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S60	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S61	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S62	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S63	무근	137.2	-	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	
S64	철근	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	64.9	a	0.296	a	
S65	무근	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S66	무근	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S67	무근	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S68	철근	224.0	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S69	철근	268.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	26.0	b	0.364	b	
S70	철근	224.0	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S71	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S72	무근	176.4	-	a	-	a	-	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	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S77	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S78	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S79	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S80	철근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S81	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S82	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S83	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S84	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S85	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S86	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S87	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S88	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S89	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	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	철근	176.4	-	a	-	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	
S97	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S98	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S99	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S100	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S101	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S102	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S103	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S104	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S105	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S106	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S107	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S108	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	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	철근	176.4	-	a	-	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	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S116	무근	176.4	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S117	무근	176.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	-	-	
S118	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S119	철근	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S120	철근	156.8	-	a	25미만	c	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S121	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S122	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S123	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S124	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	0.1	b	40.0	a	0.371	b	
S125	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	89.8	a	0.350	b	
S126	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	90.5	a	0.373	b	
S127	개착	137.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
S128	개착	156.8	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	-	-	-	
결과			a (0.000)		c (0.051)		a (0.000)		c (0.007)		b (0.007)		b (0.007)		b (0.004)		

2.2.2 터널주변 상태

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	
S1	철근	-	a	-	a	-	-	a	
S2	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								특이 사항
			박리		층분리/박락		백태/재료분리		철근노출		
			깊이 (㎜)	등급	깊이 (㎜)	등급	면적율 (%)	등급	면적율 (%)	등급	
S1	철근	73.5	-	a	-	a	-	a	-	a	
S2	철근	73.5	-	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	탄산 화	염화 물	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건		
철근 콘크리트	4.96	0.00	0.04	0.00	0.25	0.00	0.04	0.04	0.04	0.21	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	7.07	0.164
무근 콘크리트	6.95	0.00	0.01	0.00	0.51	0.00	0.00	-	-	-	0.00	1.00	0.00	0.50	0.00	8.97	0.264

【표 2.2.10】 기본시설 상태평가 결과

시설물명	구조형식	라이닝종류	연장 (m)	연장비	기본시설물		
					상태평가결과	결함지수	환산결함지수
고정1터널 (부산)	NATM	철근콘크리트	229.0	0.205	B	0.164	0.034
		무근콘크리트	889.0	0.795	C	0.264	0.210
합계			1,118.0	1.000	-	0.428	0.244

결함지수	0.244
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)		
고정1터널 (부산)	NATM	B	0.244	1.00	0.244

결함지수	0.244
전체시설물 상태평가결과	B

▶ 시설물의 결함지수(F) = $\frac{0.244}{\text{기본시설물 결함지수(F)}} \times \frac{1.00}{\text{부대시설 가중치(W)}} = \frac{0.244}{}$ ➡ 『 B 』

▶ 결함도 범위 = 0.150 ≤ 결함도 지수(0.244) < 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 0.200 ⇨ 0.244으로 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	b	0.220	b	0.164	· 공용중 손상 증가 · 근접조사에 따른 손상 증가 · 보수부 재손상
	무근콘크리트	a	0.070	c	0.264	
부대시설	피난연락갱	a	0.000	a	0.000	
전체시설물 (연장비 적용)		B	0.200	B	0.244	

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 고정1터널에 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-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

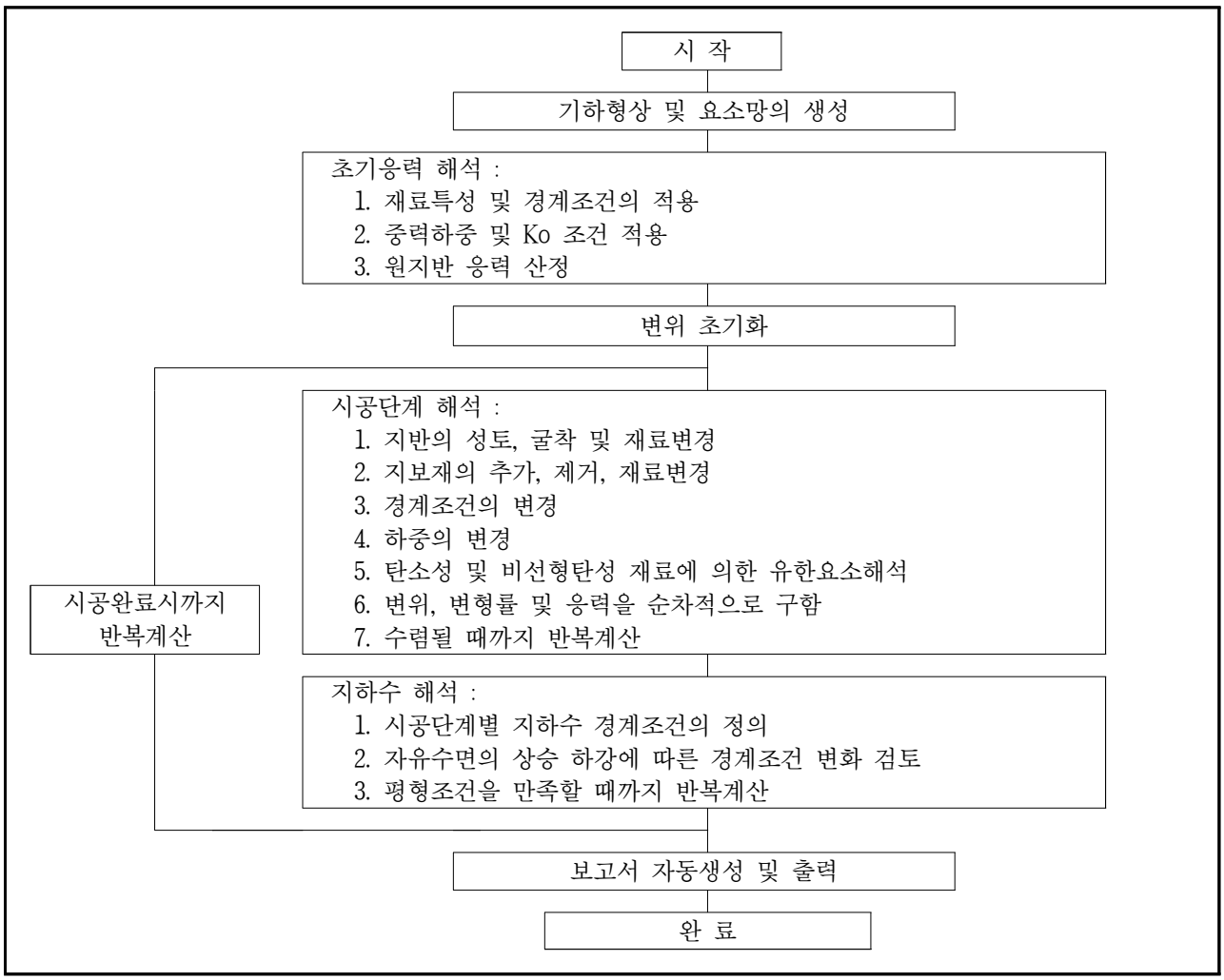
가. MIDAS/GTS

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

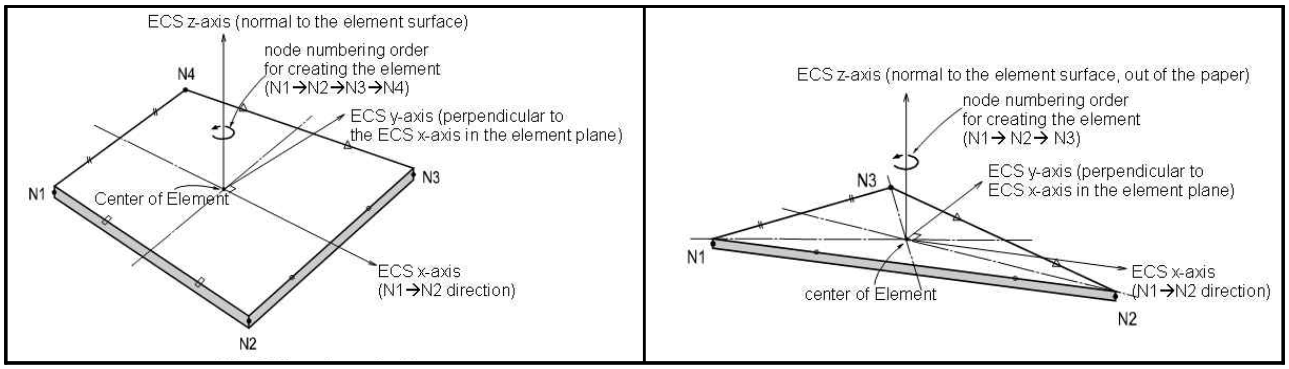
지보재는 터널과 같은 지중내 굴착면에서의 붕괴를 방지하고 그 기능과 형상을 유지할 목적으로 실시하고 있으며 주지보재로는 Shotcrete, Rock Bolt, Steel Rib 등이 이용되고 있다. 본 프로그램에서는 지보재는 다음과 같은 요소로 입력되어 해석된다.

- 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.

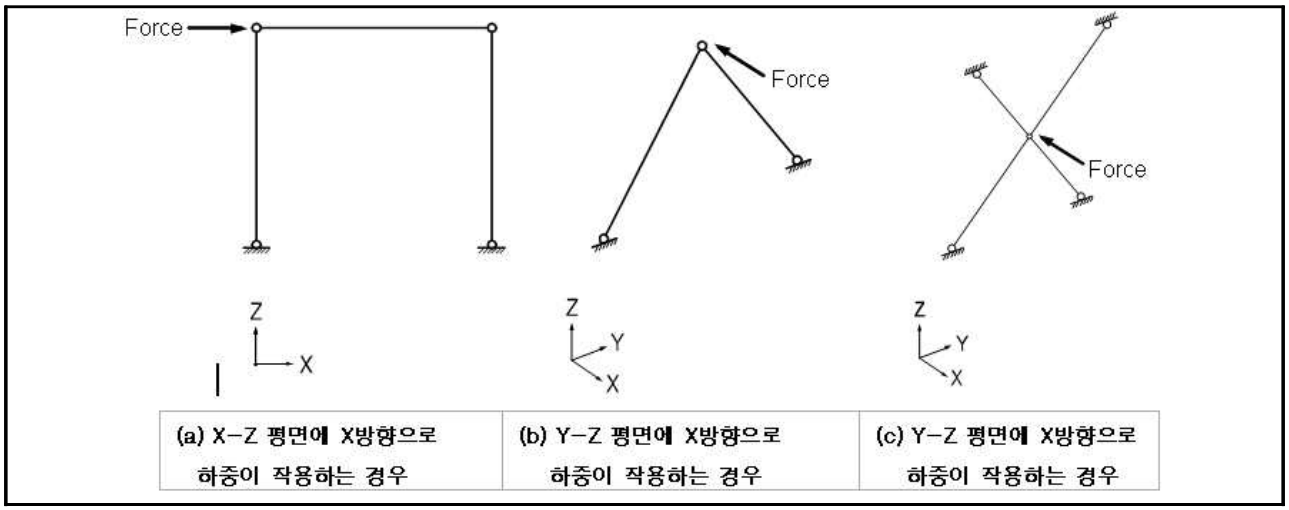


【그림 3.2.2】요소좌표계

- 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】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】고정1터널 설계 적용 지반정수

구분	단위중량 (t/m^3)	내부 마찰각(°)	점착력 (t/m^2)	탄성계수 (t/m^2)	포아송비	측압계수	인장강도 (t/m^2)	비고
토사	1.9	25	1	2,000	0.35	0.54	2	-
풍화암	2.1	30	2	20,000	0.30	0.43	3	-
연암	2.3	35	5	200,000	0.25	0.33	5	-
경암	2.6	40	35	1,500,000	0.25	1.25	40	N8W

다. 적용 지반정수

본 터널의 검토단면의 지층구성은 상부로부터 토사-풍화암-연암-경암 순으로 구성되어 있으며, 안전성 검토를 위한 지반정수 설계당시 참고문헌 및 시추조사 등을 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.

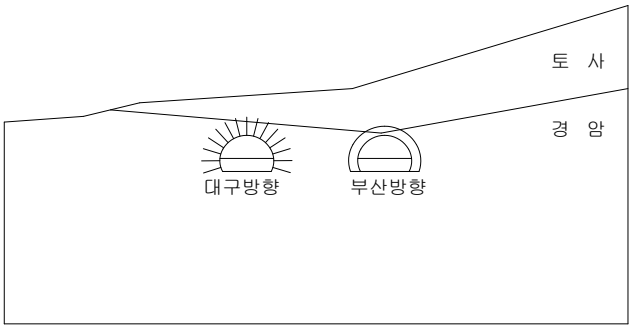
【표 3.2.9】 하중분배율

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

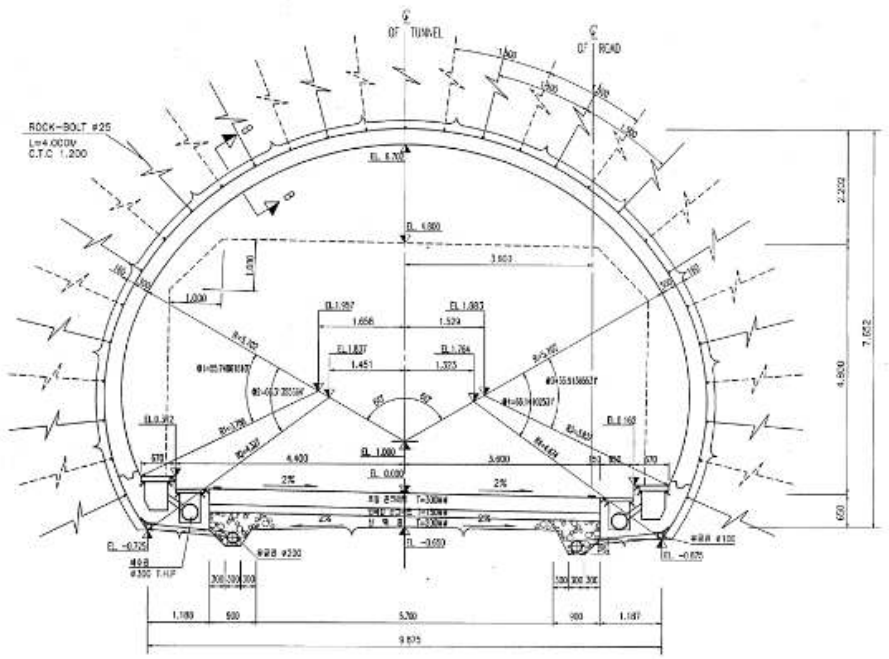
3.3 해석결과 및 분석

3.3.1 고정1터널 NATM 시점부(STA.48k+788)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 부산방향 NATM 종점부로 STA..48+788에 위치하고 있으며, 부산방향 터널의 상부에 평균 10m 내외의 토사층이 위치하여 Pre-grouting으로 보강 검토하였다. 터널의 지보형식은 Type-Ⅵ 이며, 2분할 굴착으로 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 / 2.0	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/m³)	변형계수 (kN/m²)	점착력 (kN/m²)	내부마찰각 (°)	포아슨비
토사	19	20,000	10	25	0.350
풍화암	21	200,000	20	30	0.300
연암	23	2,000,000	50	35	0.250
경암	26	15,000,000	350	40	0.250

2) 지보재

구분	단위중량(kN/m³)	탄성계수(kN/m²)	압축강도(kN/m²)
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 강관보강	7	-	-	-
부산방향 상반 굴착	8	40 %		
	9		70 %	
	10			100%
부산방향 하반 굴착	11	40 %		
	12		70 %	
	13			100%

바. 해석결과 분석

1) KO=0.5

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.169	-0.016	0.016	0.002	0.003	0.002
2	-0.305	-0.030	0.028	0.003	0.005	0.003
3	-0.420	-0.041	0.039	0.005	0.007	0.004
4	-0.420	-0.036	0.033	0.007	0.007	0.004
5	-0.421	-0.033	0.028	0.008	0.006	0.004
6	-0.419	-0.029	0.024	0.009	0.006	0.004
7	-0.419	-0.029	0.024	0.008	0.006	0.004
8	-0.414	-0.032	0.014	-0.740	-0.034	0.047
9	-0.411	-0.036	0.000	-1.374	-0.074	0.088
10	-0.407	-0.041	-0.017	-1.925	-0.116	0.130
11	-0.404	-0.043	-0.023	-1.940	-0.122	0.131
12	-0.401	-0.044	-0.027	-1.951	-0.126	0.131
13	-0.399	-0.046	-0.031	-1.961	-0.130	0.132
최대값	**-0.421**	**-0.046**	**0.039**	**-1.961**	**-0.130**	**0.132**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.320	1.155
록볼트 축력(kN)	0.469	-
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 -1.961㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 0.132㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.155MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 0.469kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.156	0.000	-0.003	0.003	-0.002	-0.002
2	-0.283	-0.002	-0.004	0.004	-0.004	-0.003
3	-0.388	-0.002	-0.006	0.006	-0.006	-0.004
4	-0.379	0.014	-0.027	0.008	-0.012	-0.009
5	-0.372	0.026	-0.042	0.010	-0.017	-0.013
6	-0.364	0.038	-0.057	0.011	-0.022	-0.016
7	-0.364	0.038	-0.057	0.010	-0.022	-0.016
8	-0.359	0.035	-0.067	-0.745	-0.057	0.021
9	-0.355	0.031	-0.081	-1.384	-0.093	0.058
10	-0.352	0.026	-0.097	-1.939	-0.130	0.095
11	-0.349	0.026	-0.098	-1.944	-0.128	0.085
12	-0.347	0.026	-0.099	-1.949	-0.127	0.077
13	-0.345	0.025	-0.101	-1.952	-0.126	0.070
최대값	**-0.388**	**0.038**	**-0.101**	**-1.952**	**-0.130**	**0.095**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.391	1.294
록볼트 축력(kN)	1.414	-
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 -1.952㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 -0.130㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.294MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 1.414kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

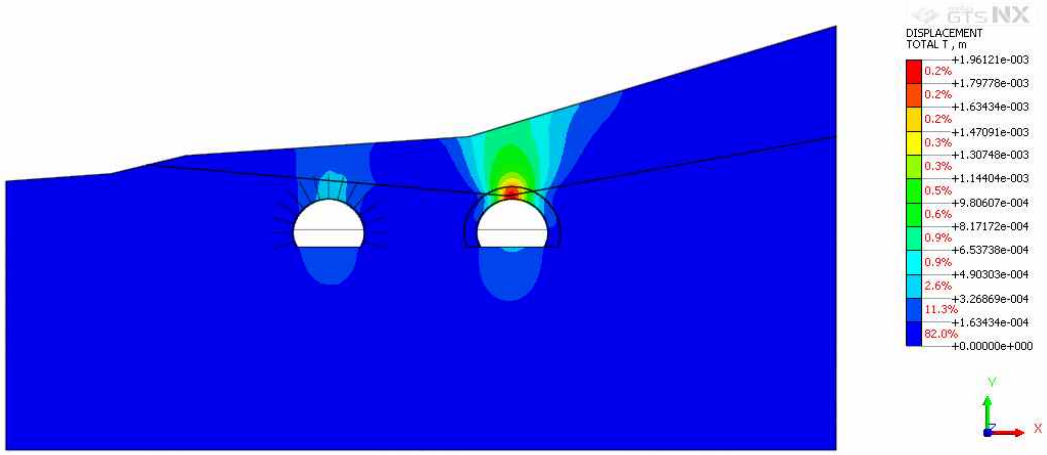
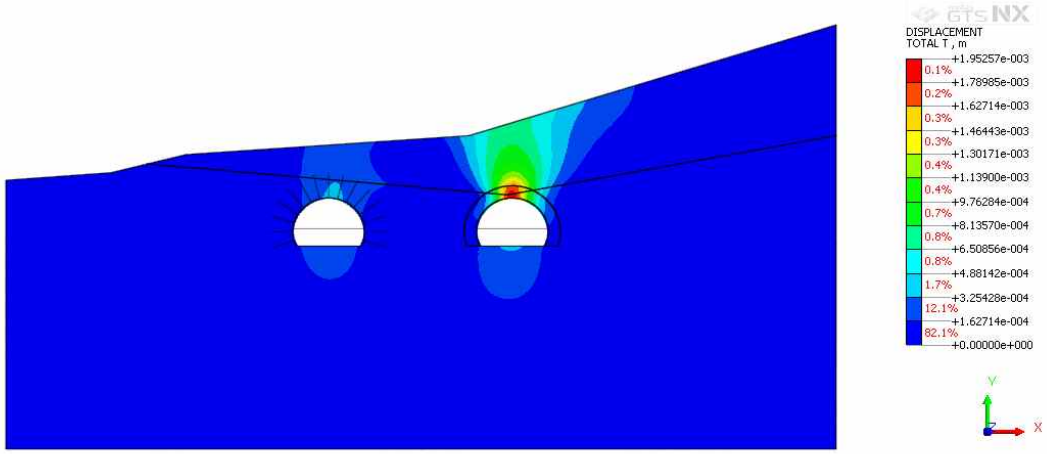
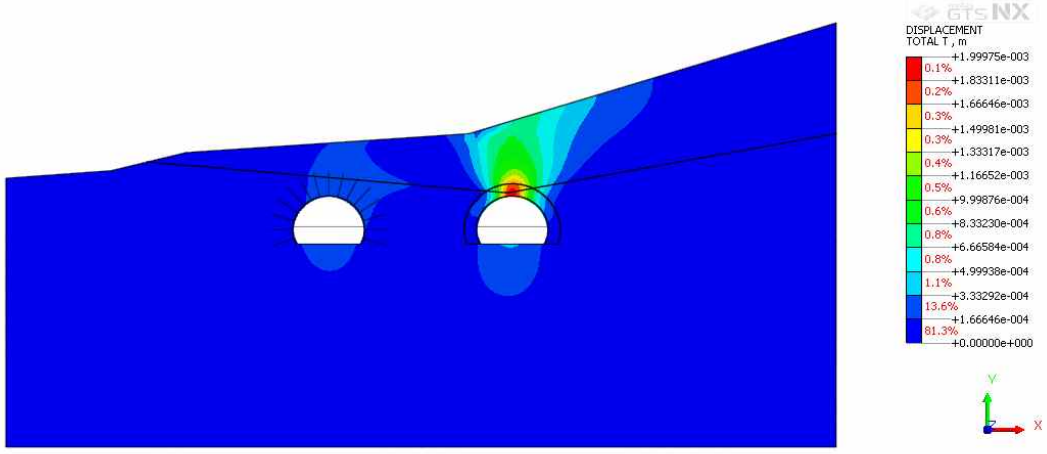
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.144	0.015	-0.020	0.004	-0.007	-0.005
2	-0.262	0.024	-0.033	0.006	-0.012	-0.008
3	-0.359	0.035	-0.048	0.008	-0.017	-0.012
4	-0.340	0.062	-0.082	0.011	-0.030	-0.021
5	-0.327	0.082	-0.107	0.012	-0.040	-0.028
6	-0.311	0.102	-0.132	0.014	-0.049	-0.035
7	-0.311	0.102	-0.132	0.013	-0.049	-0.035
8	-0.306	0.098	-0.144	-0.772	-0.083	0.001
9	-0.303	0.094	-0.159	-1.417	-0.117	0.037
10	-0.300	0.089	-0.177	-1.975	-0.152	0.072
11	-0.298	0.089	-0.175	-1.972	-0.145	0.053
12	-0.296	0.090	-0.173	-1.971	-0.139	0.039
13	-0.295	0.091	-0.172	-1.967	-0.133	0.025
최대값	**-0.359**	**0.102**	**-0.177**	**-1.975**	**-0.152**	**0.072**

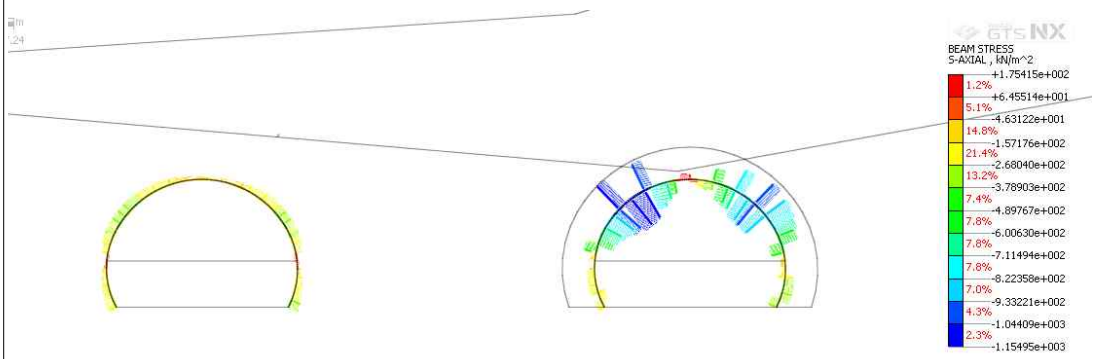
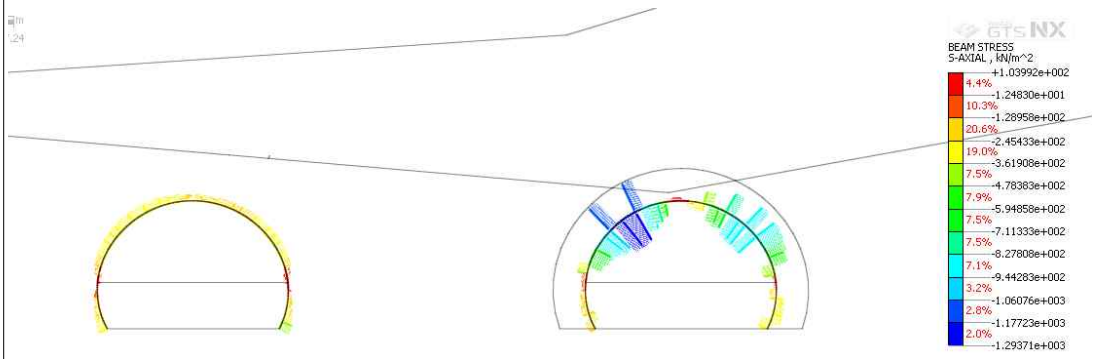
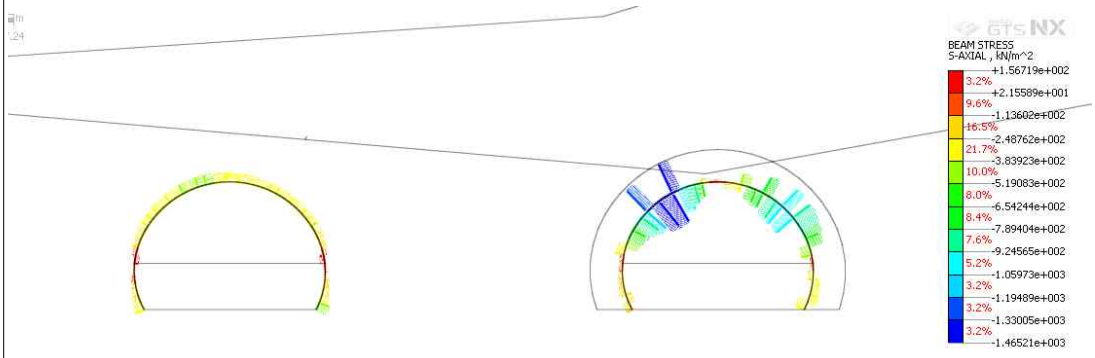
② 지보재 응력

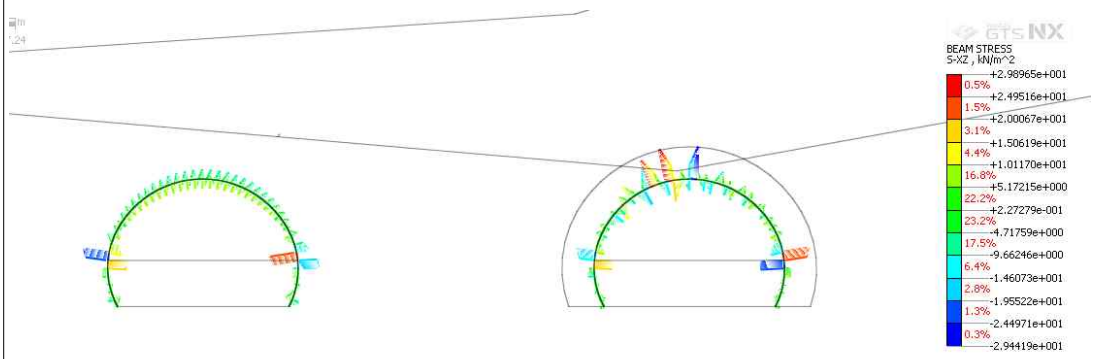
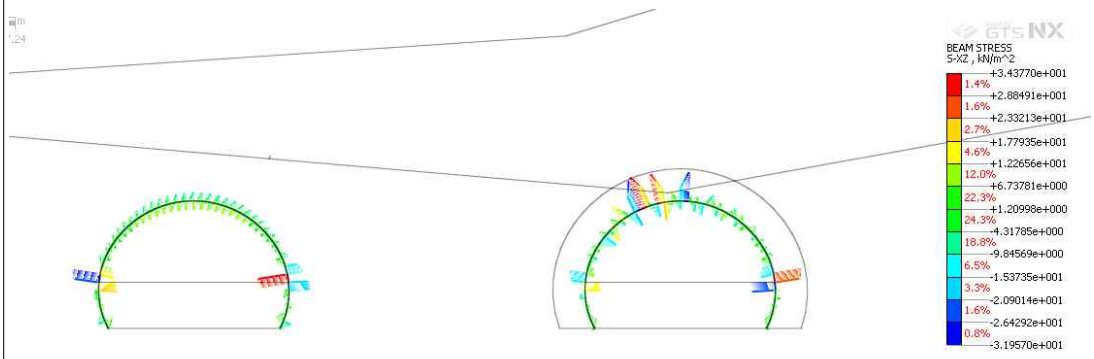
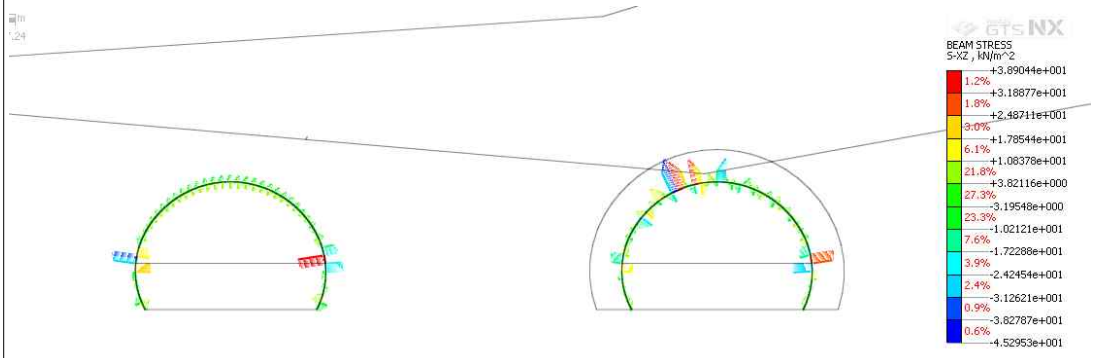
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.466	1.465
록볼트 축력(kN)	1.704	-
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

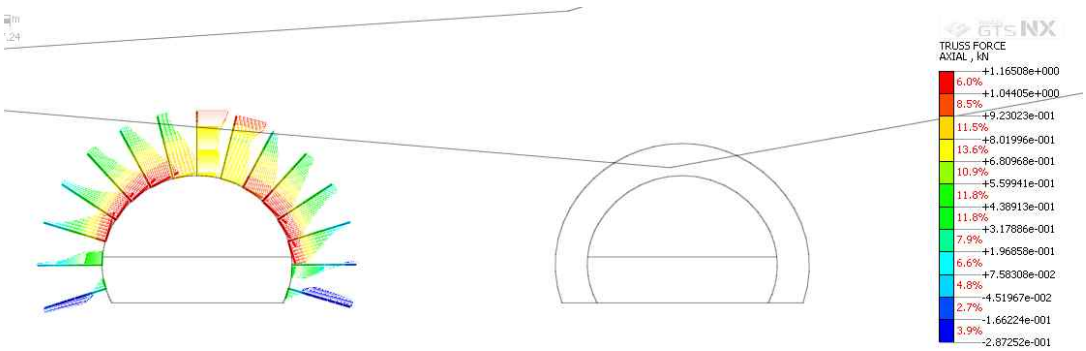
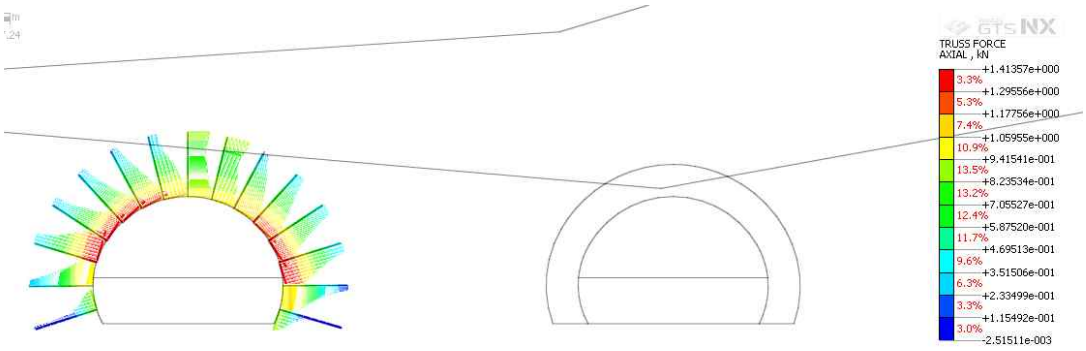
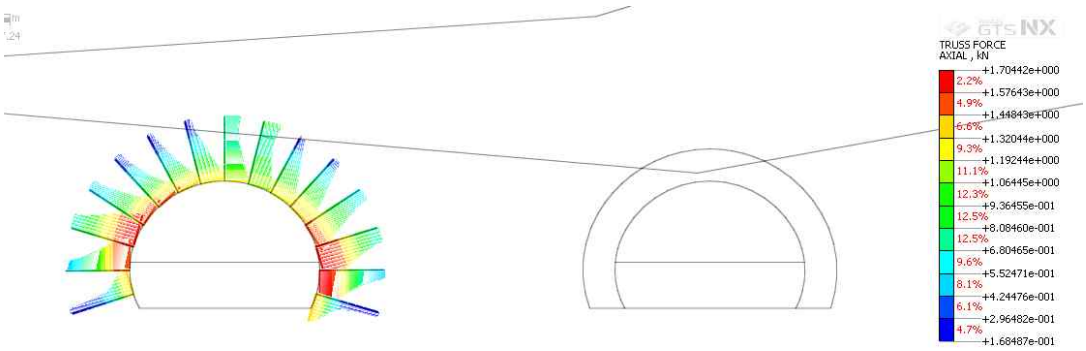
③ 해석결과

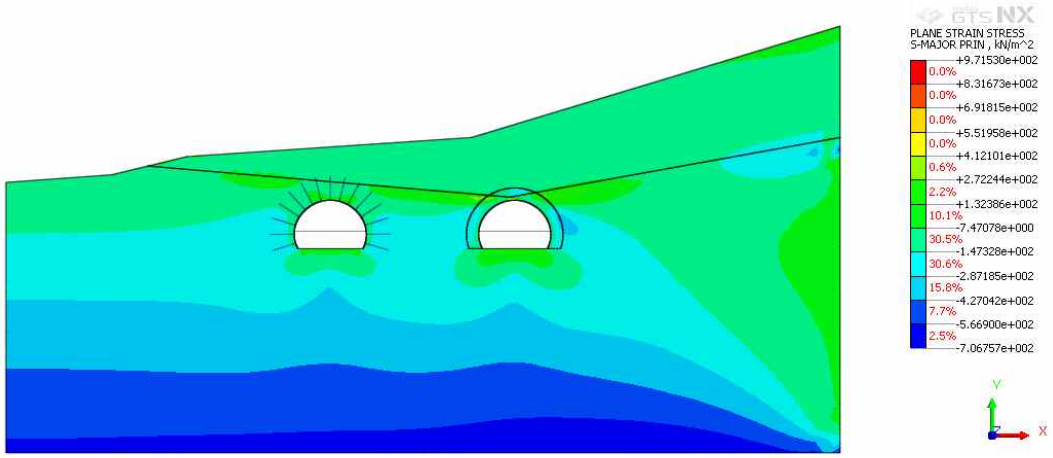
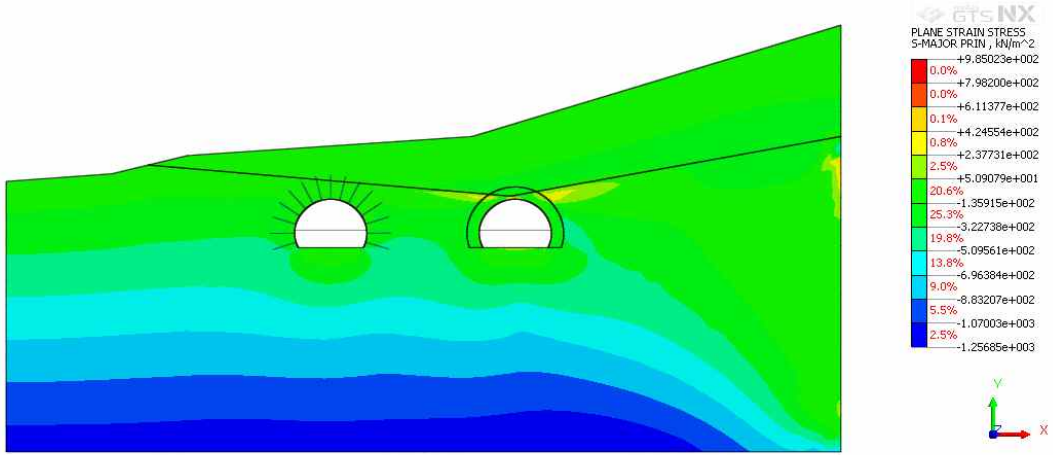
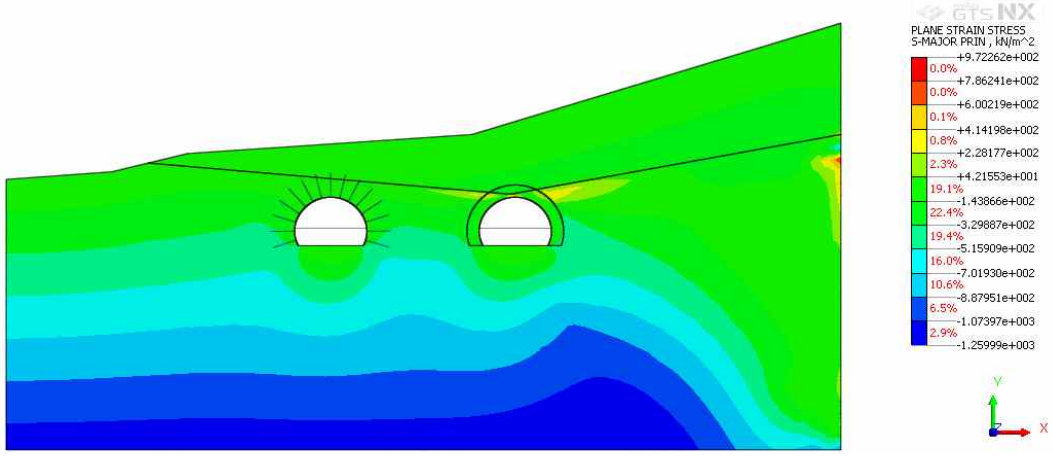
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -1.975㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 -0.177㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.465MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 1.704kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

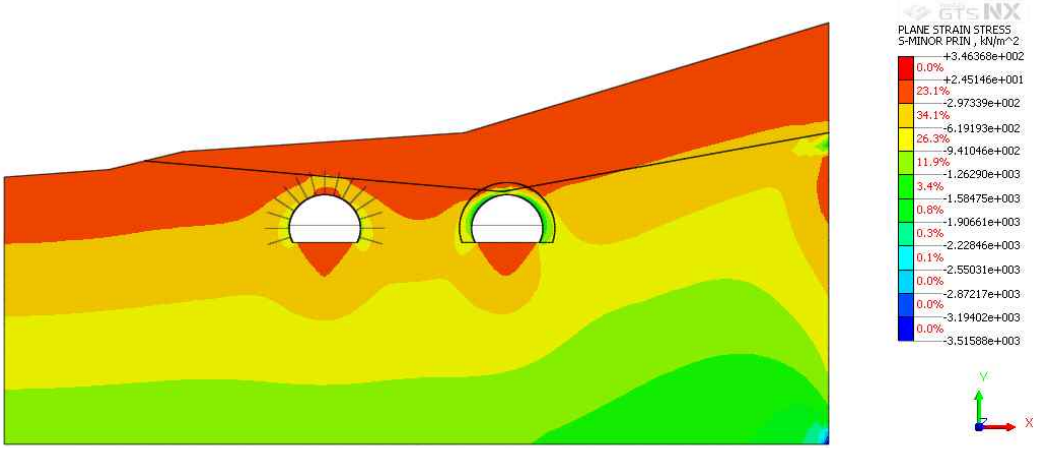
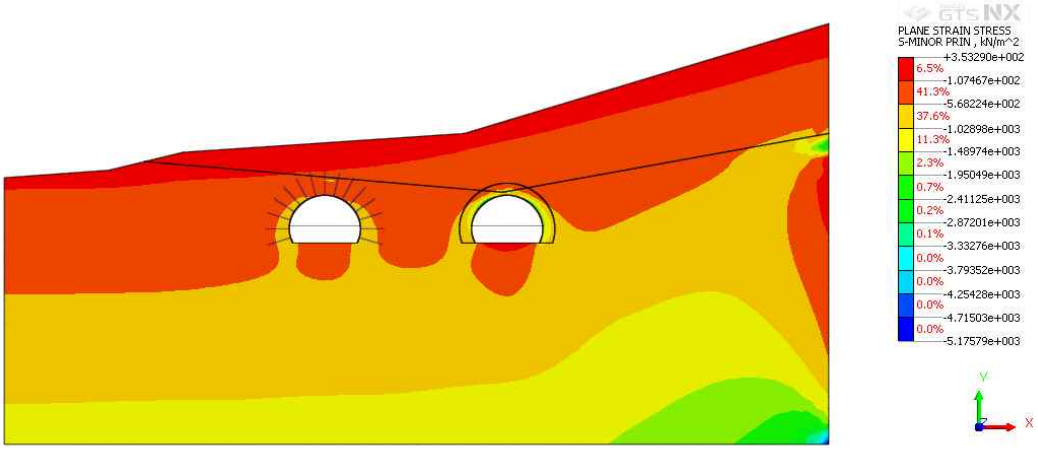
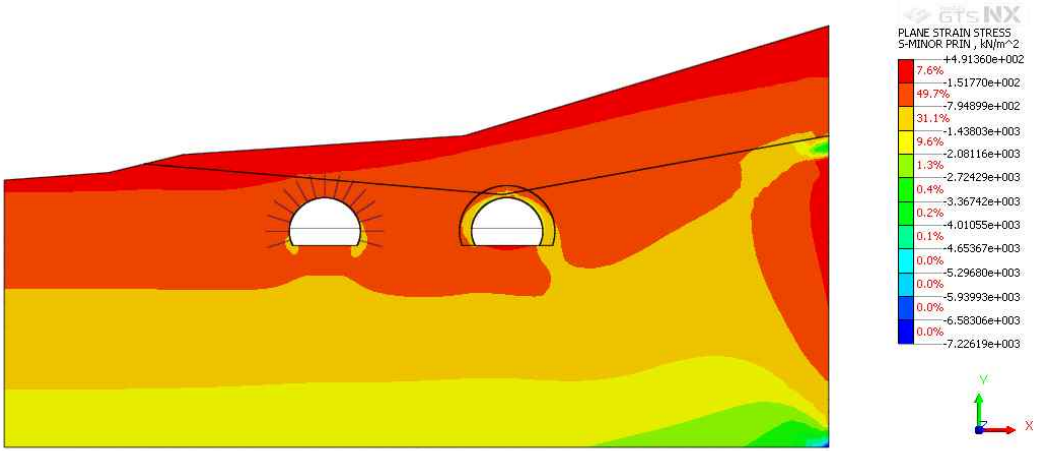
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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	

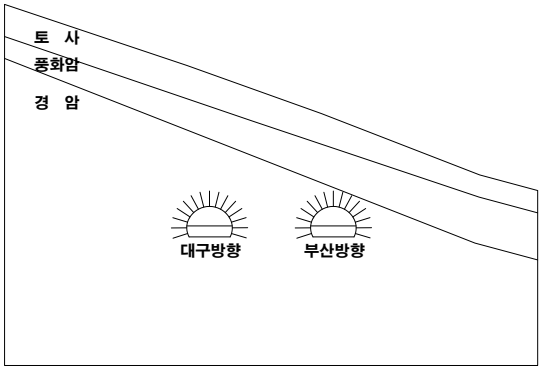
구 분	최종 단계의 록볼트 축력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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

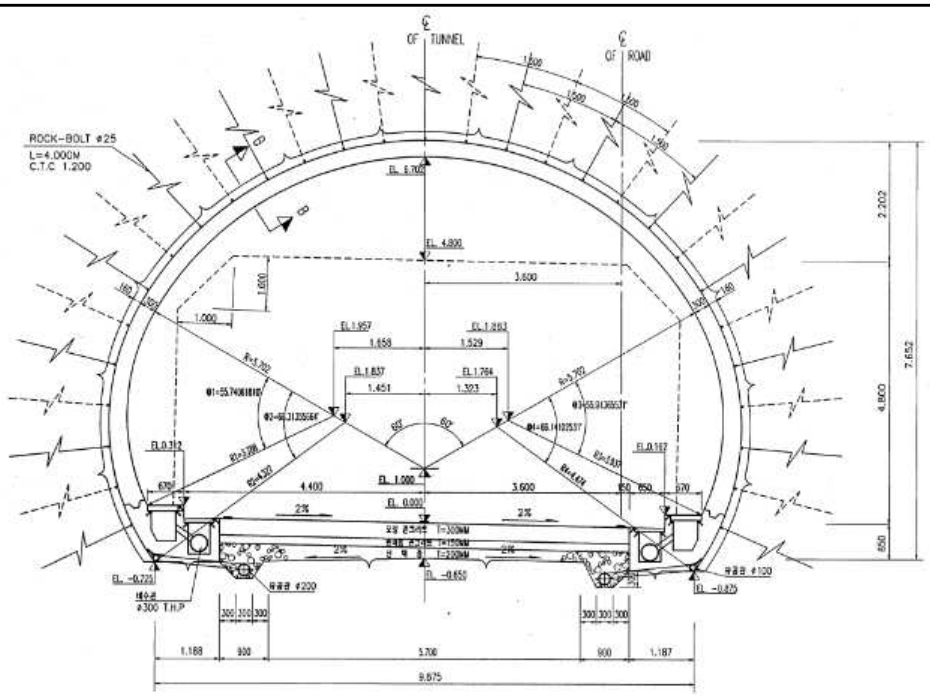
구 분	최종 단계의 최소 주응력도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

3.3.2 고정1터널 NATM 종점부(STA.49k+801)

가. 해석단면의 지반구성 및 특징

해석단면	선정사유
	본 구간은 부산방향 Sta.49+801에 위치하고 있으며, 부산방향 터널방향으로 35%이상의 경사를 이루고 있다. 대구방향 터널은 상부에 8m가량의 토사층과 4m가량의 풍화암층이 위치하고 있으며, 부산방향 터널은 상부에 7m가량의 토사층과 10m가량의 풍화암층이 위치하고 있다. 터널의 지보형식은 Type-Ⅵ이며, 2분할 굴착으로 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 / 2.0	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	20,000	10	25	0.350
풍화암	21	200,000	20	30	0.300
연암	23	2,000,000	50	35	0.250
경암	26	15,000,000	350	40	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	-0.264	-0.023	0.017	-0.003	0.007	0.003
2	-0.466	-0.040	0.030	-0.005	0.013	0.005
3	-0.661	-0.027	0.012	-0.007	0.020	0.008
4	-0.670	-0.003	-0.004	-0.007	0.018	0.006
5	-0.678	0.016	-0.015	-0.008	0.017	0.005
6	-0.686	0.035	-0.028	-0.008	0.016	0.004
7	-0.687	0.039	-0.035	-0.303	-0.004	0.021
8	-0.687	0.043	-0.040	-0.530	-0.020	0.033
9	-0.687	0.046	-0.045	-0.737	-0.033	0.045
10	-0.689	0.048	-0.039	-0.743	-0.007	0.034
11	-0.690	0.050	-0.036	-0.748	0.012	0.026
12	-0.691	0.052	-0.032	-0.750	0.032	0.018
최대값	**-0.691**	**0.052**	**-0.045**	**-0.750**	**-0.033**	**0.045**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	0.917	0.688
록볼트 축력(kN)	28.530	3.156
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 -0.750㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 0.052㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 0.917MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 28.530kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

2) KO=1.0

① 변위

해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.238	0.029	-0.031	-0.004	-0.003	-0.005
2	-0.420	0.051	-0.054	-0.007	-0.005	-0.008
3	-0.591	0.076	-0.083	-0.009	-0.007	-0.012
4	-0.588	0.131	-0.124	-0.011	-0.019	-0.022
5	-0.586	0.171	-0.157	-0.013	-0.028	-0.029
6	-0.584	0.213	-0.191	-0.015	-0.037	-0.036
7	-0.587	0.223	-0.187	-0.287	-0.011	-0.058
8	-0.590	0.230	-0.184	-0.498	0.007	-0.074
9	-0.592	0.237	-0.181	-0.689	0.029	-0.090
10	-0.598	0.244	-0.165	-0.677	0.089	-0.122
11	-0.602	0.249	-0.153	-0.668	0.134	-0.146
12	-0.606	0.254	-0.141	-0.658	0.179	-0.169
최대값	**-0.606**	**0.254**	**-0.191**	**-0.689**	**0.179**	**-0.169**

② 지보재 응력

구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	1.179	0.973
록볼트 축력(kN)	22.104	8.270
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 -0.689㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 대구방향에서 0.254㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.179MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 22.104kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

3) KO=1.5

① 변위

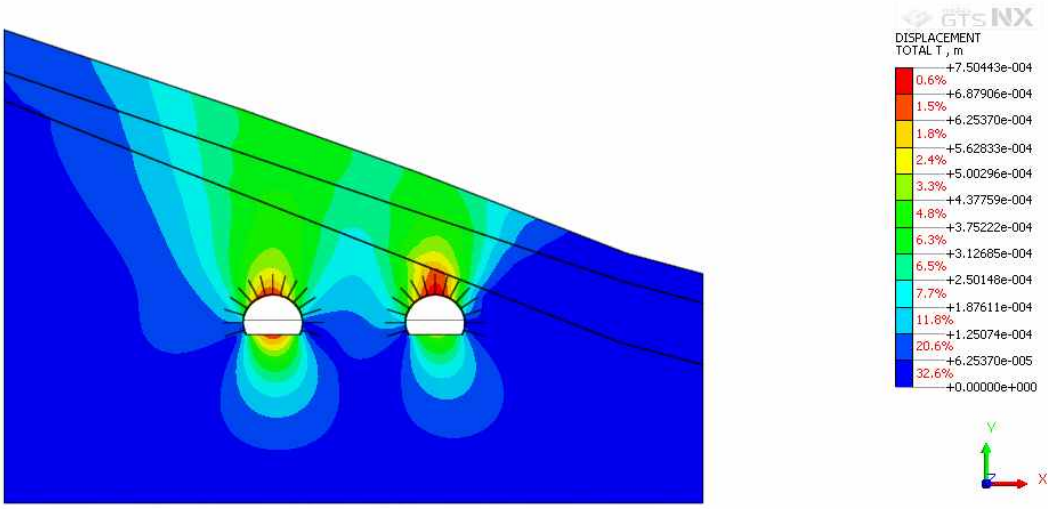
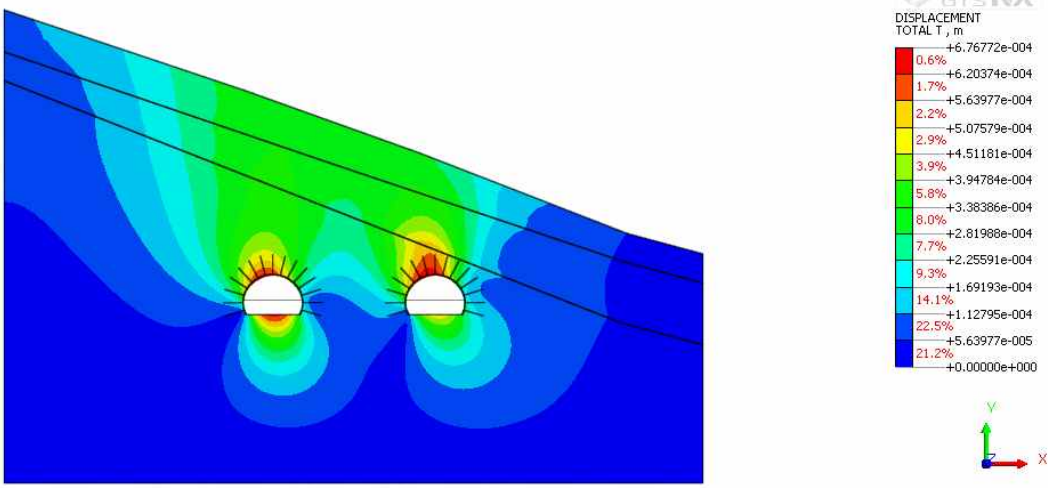
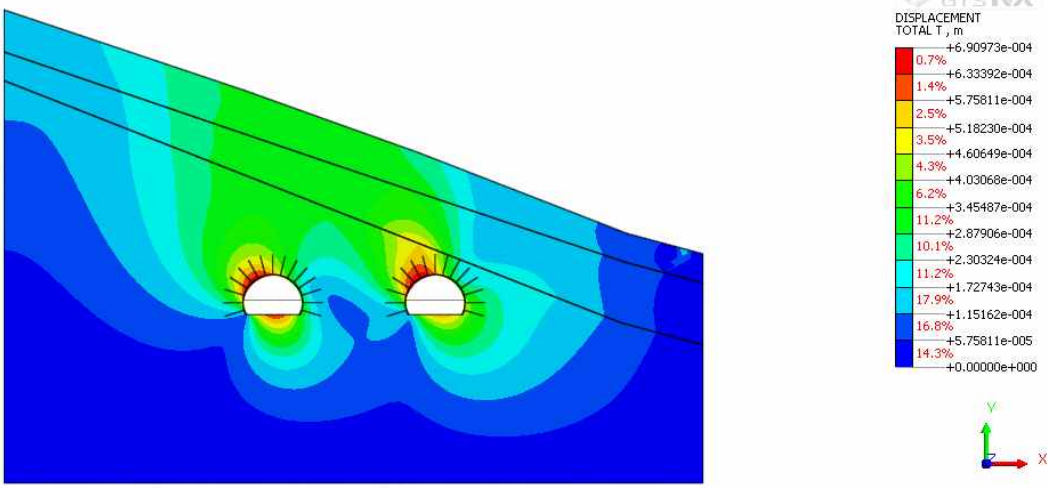
해석단계	대구방향 변위			부산방향 변위		
	천단	좌측벽	우측벽	천단	좌측벽	우측벽
1	-0.211	-0.133	-0.047	-0.004	-0.007	-0.003
2	-0.373	-0.235	-0.085	-0.008	-0.013	-0.006
3	-0.525	-0.328	-0.118	-0.012	-0.018	-0.008
4	-0.510	-0.342	-0.111	-0.016	-0.021	-0.010
5	-0.498	-0.353	-0.108	-0.019	-0.024	-0.012
6	-0.485	-0.362	-0.103	-0.022	-0.026	-0.013
7	-0.491	-0.368	-0.111	-0.272	-0.196	-0.036
8	-0.497	-0.372	-0.117	-0.466	-0.326	-0.059
9	-0.501	-0.376	-0.123	-0.646	-0.448	-0.073
10	-0.510	-0.381	-0.128	-0.617	-0.466	-0.057
11	-0.517	-0.385	-0.133	-0.595	-0.480	-0.046
12	-0.524	-0.388	-0.137	-0.571	-0.492	-0.032
최대값	**-0.525**	**-0.388**	**-0.137**	**-0.646**	**-0.492**	**-0.073**

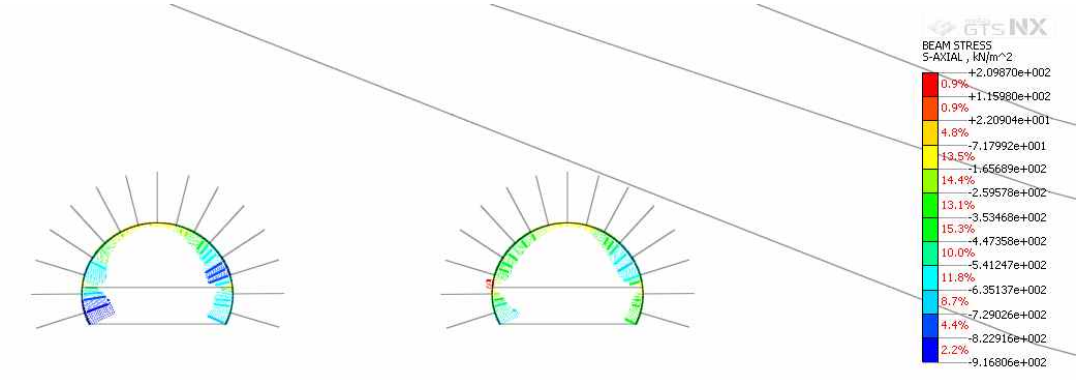
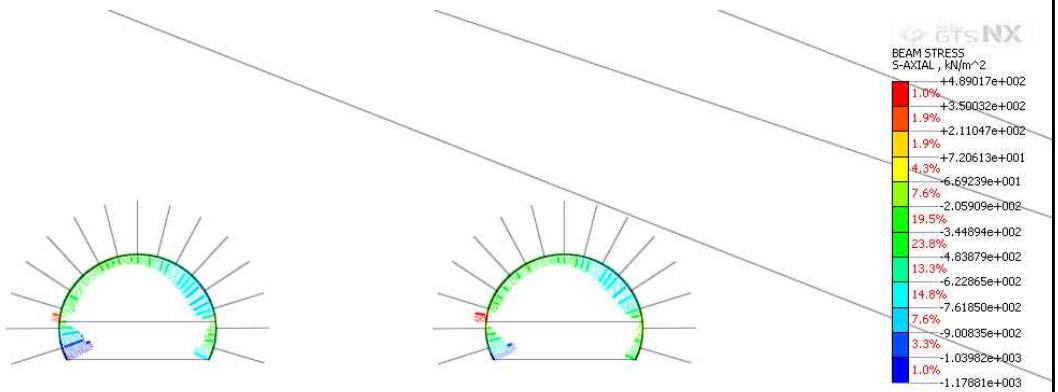
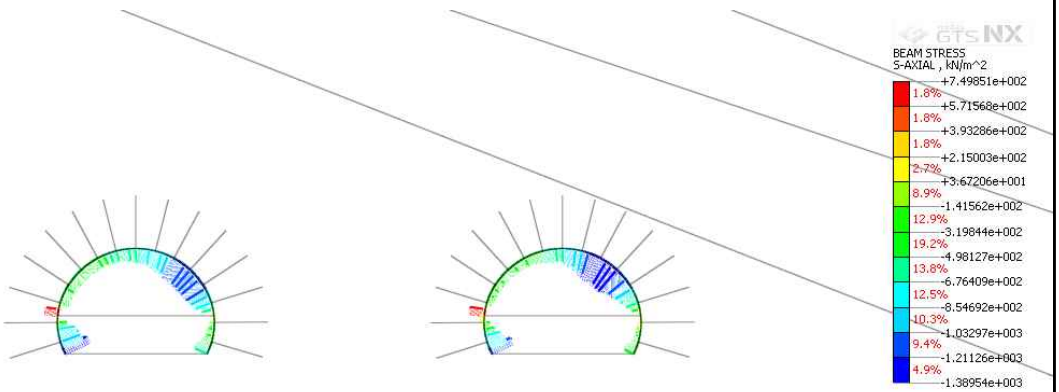
② 지보재 응력

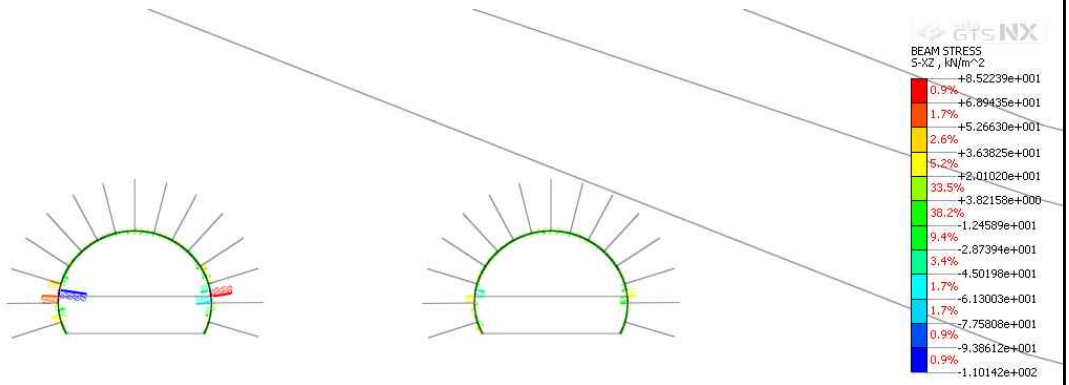
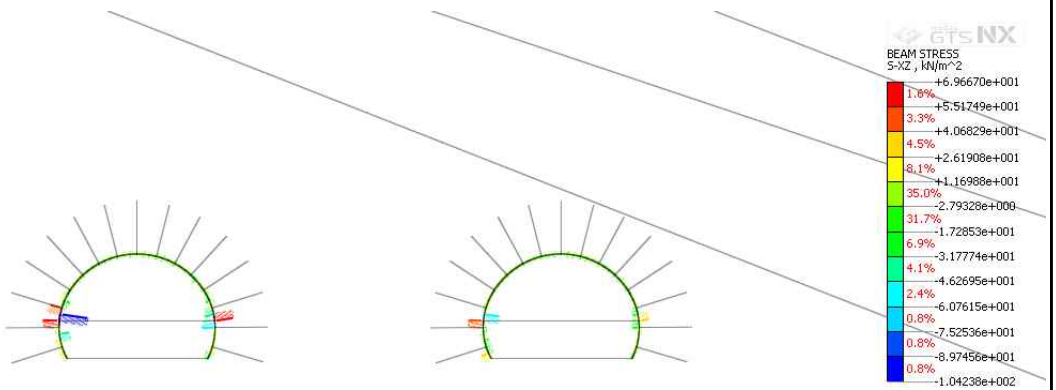
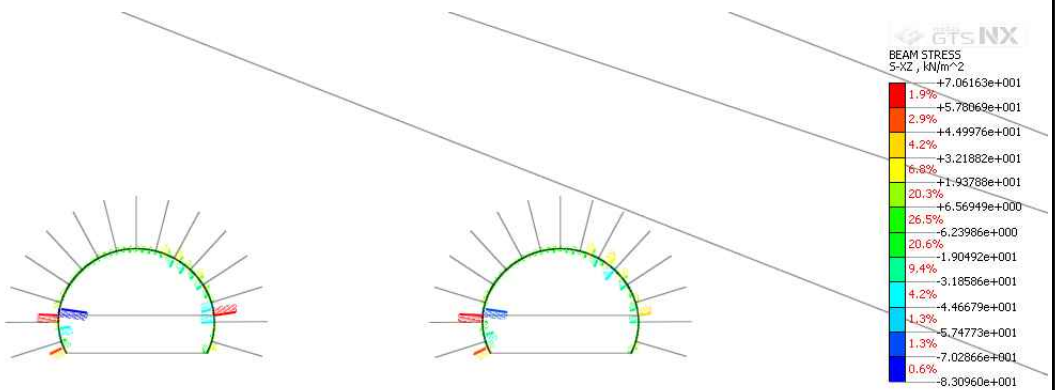
구분	대구방향	부산방향
숏크리트 압축응력(MPa)	1.299	1.390
록볼트 축력(kN)	28.627	21.791
지보재 허용내력	◦ S/C 압축응력 : fca = 0.4×fck = 8.4 MPa ◦ R/B 허용축력 : Φ25, SD35, 단면적=5.07㎠ (영구구조물로 간주) fsa = 0.5fy = 88.7kN	

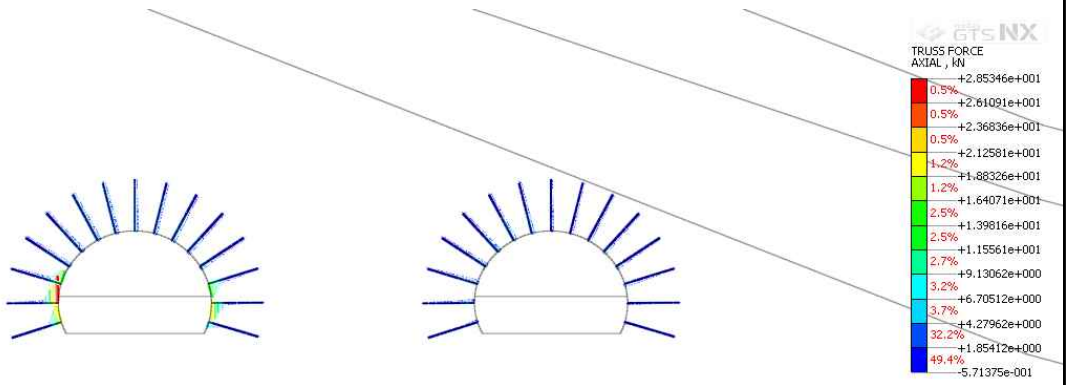
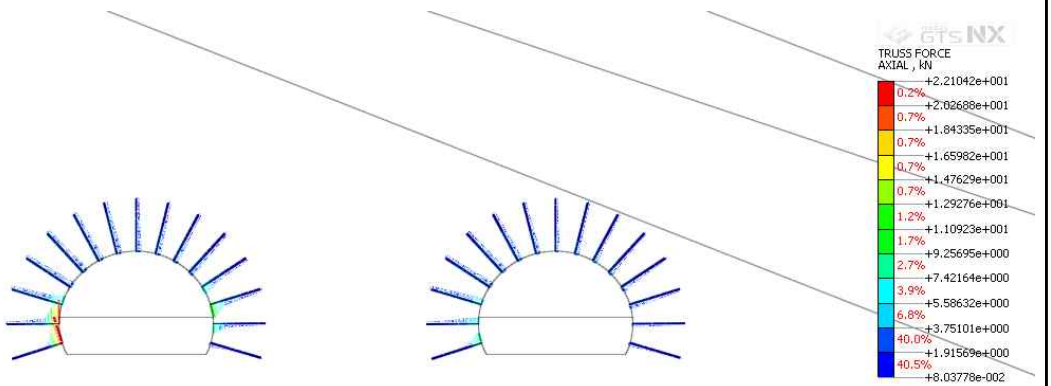
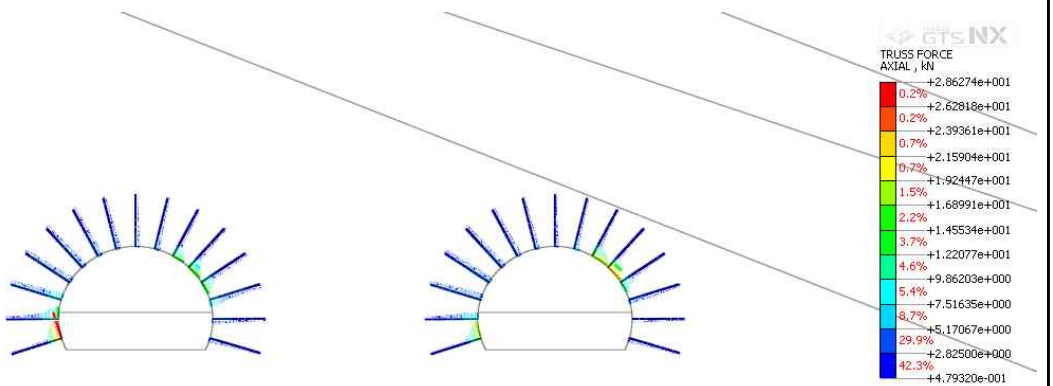
③ 해석결과

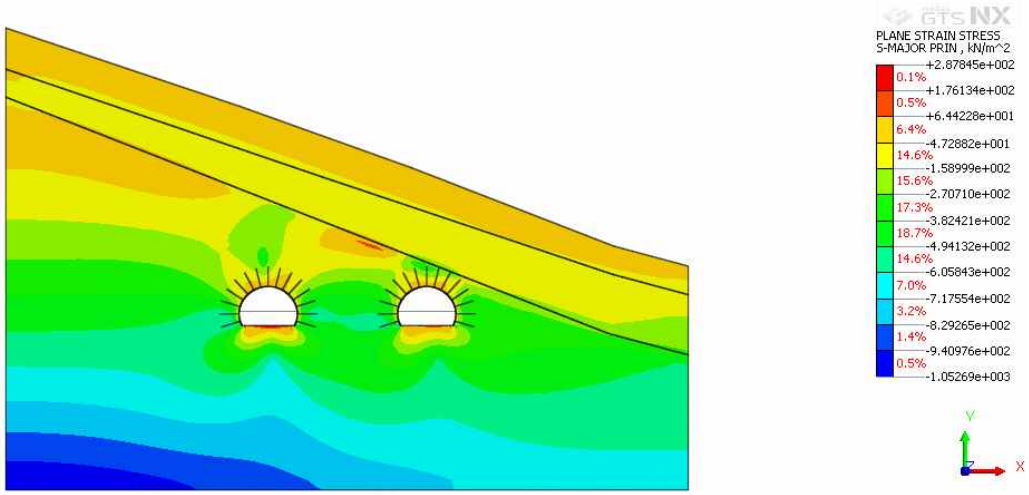
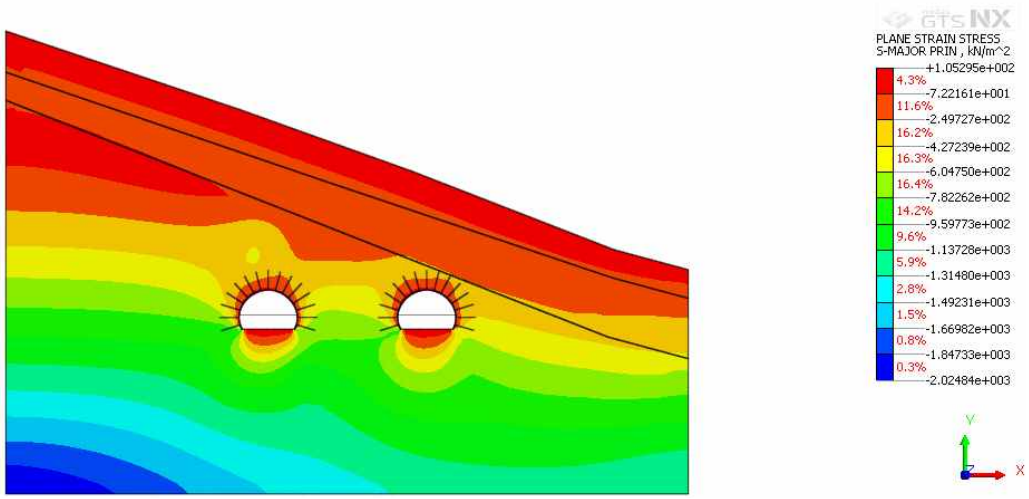
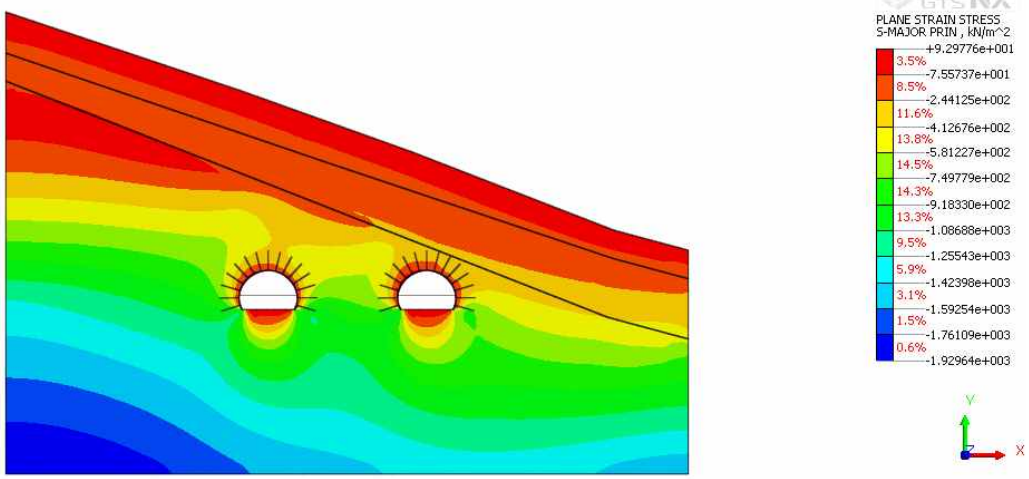
해석 결과	◦ 최대 천단변위는 부산방향에서 -0.646㎜로 나타남. ◦ 최대 수평변위는 부산방향에서 -0.492㎜로 나타남. ◦ 숏크리트 응력 검토결과 최대휨응력은 1.390MPa로 허용응력(8.400MPa)이내로 나타남. ◦ 록볼트 축력 검토결과 최대축력은 28.627kN로 허용응력(88.7kN)이내로 나타남.

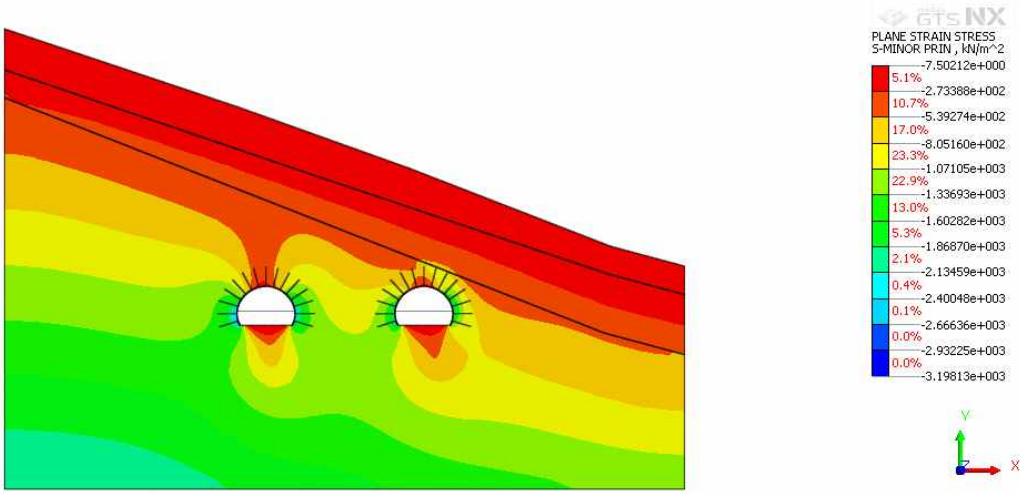
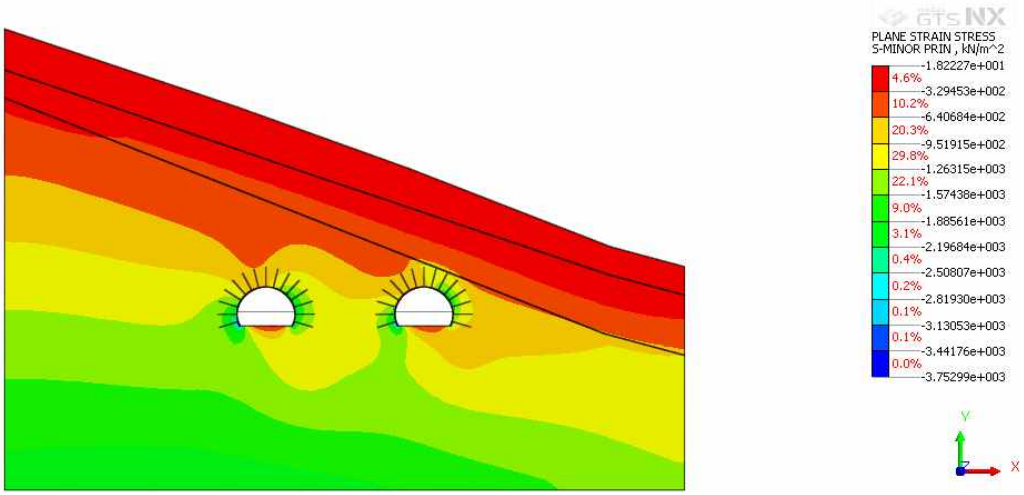
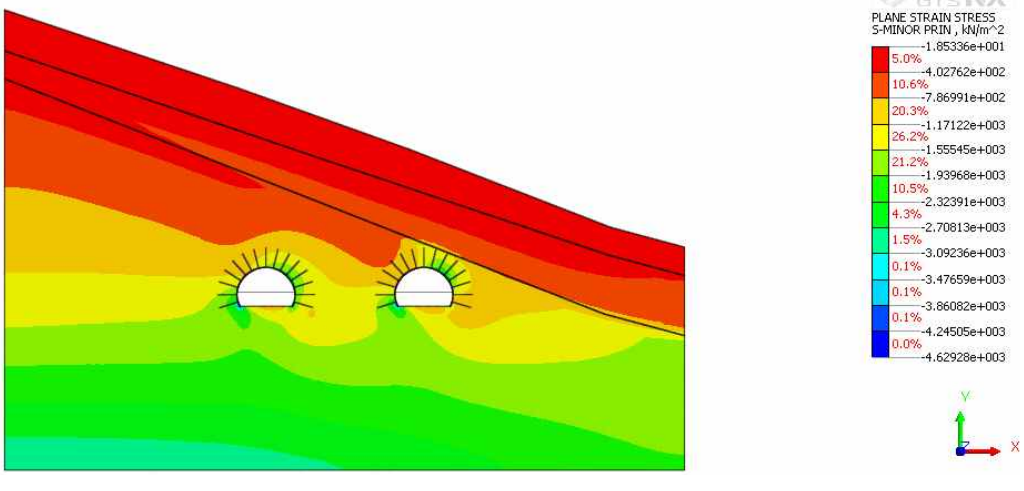
구 분	최종 단계의 변위도
KO=0.5	
KO=1.0	
KO=1.5	

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 고정1터널 시점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-1.961	-1.952	-1.975
최대 수평변위(㎜)	0.132	-0.130	-0.177
숏크리트 압축응력(MPa)	1.155<8.400 ∴O.K	1.294<8.400 ∴O.K	1.465<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	0.469	1.414	1.704

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

3.4.2 고정1터널 종점부

구 분	KO=0.5	KO=1.0	KO=1.5
최대 천단변위(㎜)	-0.750	-0.689	-0.646
최대 수평변위(㎜)	0.052	0.254	0.492
숏크리트 압축응력(MPa)	0.917<8.400 ∴O.K	1.179<8.400 ∴O.K	1.390<8.400 ∴O.K
록볼트 축력(kN)	28.530<88.70 ∴O.K	22.104<88.70 ∴O.K	28.627<88.70 ∴O.K

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

제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

4.1 종합평가 결과

4.2 시설물의 안전등급

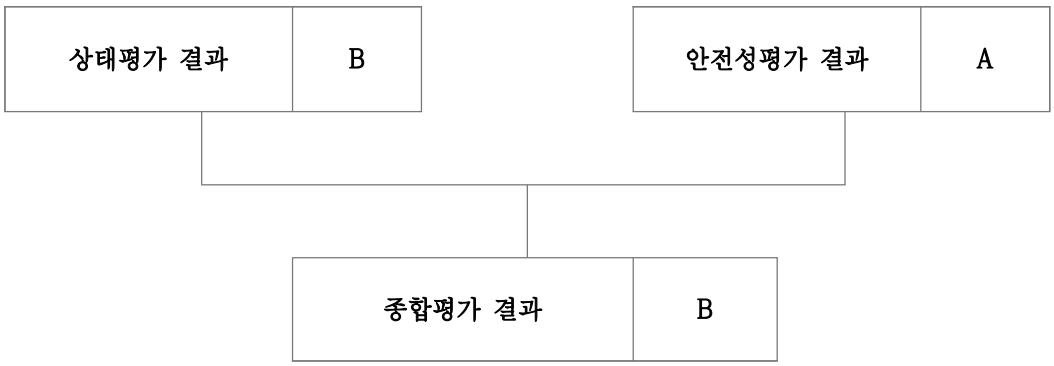
제 4장 종합평가 및 안전등급의 지정

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 등급산정 결과

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 등급 변화 비교

시행년도	분류	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
금회	정밀안전진단	B (0.244)	A (3.098)	B	· 상태평가와 안전성등급 중 낮은 등급으로 안전등급 결정

4.2 시설물의 안전등급

고정1터널(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
고정1터널 (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

고정1터널(부산)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리～산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,118m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 6Span, 종점 8Span)+굴착(NATM, 114Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시·종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 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, 박락/들뜸/파손, 재료분리, 공동부에 균열, 박락/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. 고정1터널(부산)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

고정1터널(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.

고정1터널(부산) 정밀안전진단 결과

상태평가결과

- 상태평가결과 → "B" (0.244)

- 라이닝
  - 철근구간 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 박락, 재료분리, 철근노출 등
  - 무근구간 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 들뜸, 박락, 파손 등
- 공동구 : 폭 0.2㎜이하 균열, 폭 0.3㎜이상 균열, 박락/파손, 공동구 덮개파손 등
- 배수시설 : 집수구 토사퇴적 등
- 포장부 : 균열, 망상균열, 스켈링, 스폴링 등
- 부대시설
  - 피난연락갱 : 상태양호

안전성 평가결과

- 안전성 평가 결과 → "A"

- 숏크리트
  - 압축응력 : 0.917～1.465MPa < 8.400Mpa
  - SF = 5.734

- 록볼트
  - 0.469～28.627KN < 88.70KN
  - SF = 3.098

보수 · 보강 방향

1 순위	2 순위	3 순위
-	-	• 라이닝 실런트 탈락 • 집수구 토사 퇴적 • 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)	79.5	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	330.8	m	지속관찰	-
	재균열(0.2㎜이하)	30	m	지속관찰	-
	재균열(0.3㎜이상)	903	m	지속관찰	-
	망상균열	165.29	㎡	지속관찰	-
	철근노출	0.01	㎡	지속관찰	-
	박락/들뜸/파손	3.66	㎡	지속관찰	-
	재료분리	25	㎡	지속관찰	-
	표면오염	60	㎡	지속관찰	-
	실런트 탈락	0.4	m	실런트 마감	3
라이닝(측벽부)	균열(0.2㎜이하)	4.7	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	33	m	지속관찰	-
	타일균열/파손	200	개소	지속관찰	-
공동구	균열(0.2㎜이하)	5.5	m	지속관찰	-
	균열(0.3㎜이상)	18	m	지속관찰	-
	박락/파손	9.66	㎡	지속관찰	-
	공동구 덮개 파손	158	개소	지속관찰	-
배수시설	집수구 토사 퇴적	4.8	㎡	정비	3
도로부	포장부 균열	103.8	m	주입보수	3
	포장부 망상균열	48	㎡	지속관찰	-
	포장부 스캘링	65.46	㎡	지속관찰	-
	포장부 스폴링	8.34	㎡	지속관찰	-
	길어깨부 균열	2.4	m	주입보수	3
	길어깨부 박락	0.05	㎡	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

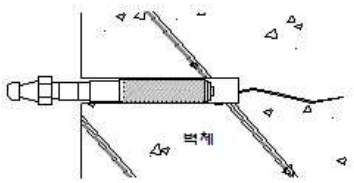
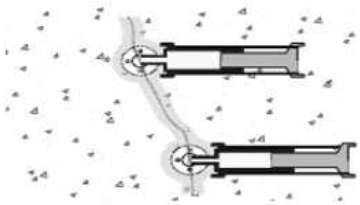
형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【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.

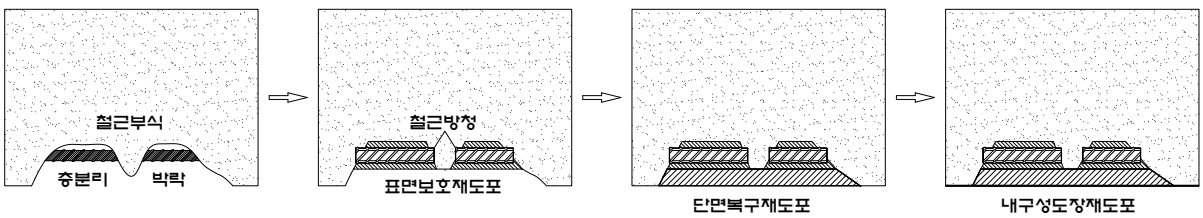
2) 시공방법

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 5.2.3】 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

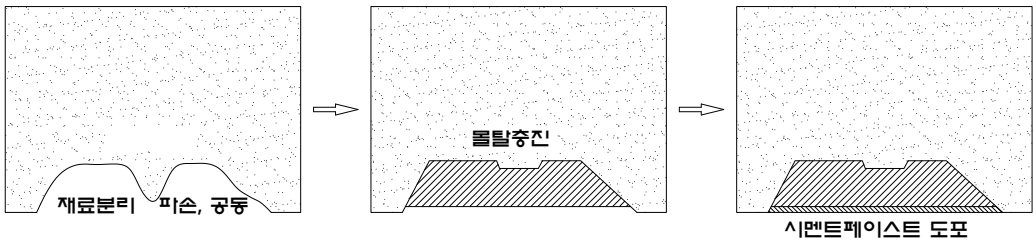
① 손상부 표면제거 - 콘크리트 건전부까지 치핑한다.

② 고압세척 및 콘크리트 접착제 도포 - 고압세정기 사용하여 이물질제거

③ 몰탈충진 - 몰탈로 단면복구

④ 표면처리 - 시멘트페이스트 등 도포

3) 개요도



【그림 5.2.4】 재료분리, 파손 단면복구 개요도

4) 결손 단면복구용 재료 성질

① 장시간 보관에도 재료의 성질 변화가 없을 것

② 부착력이 높은 재료

5) 주의사항

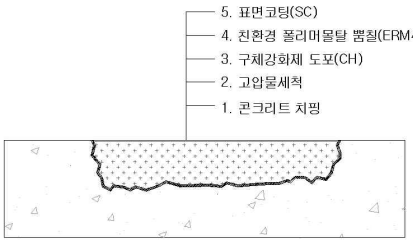
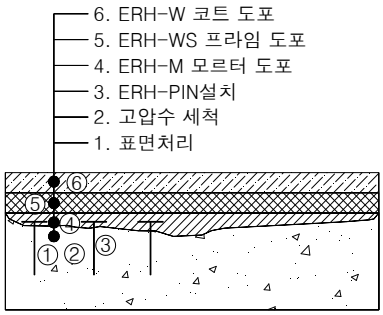
① 고압세정기의 용량은 50 ~ 150 kg/㎠를 사용

② 1회 도포시 두께는 10mm 정도로 한다.

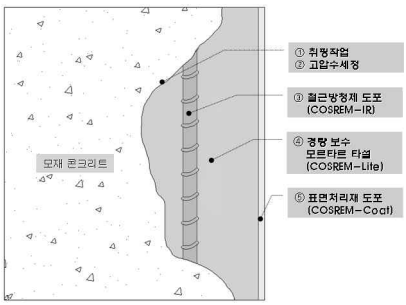
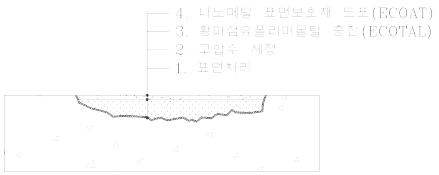
6) 콘크리트 충진

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)

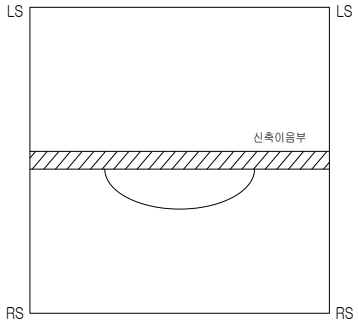
신기술 명칭	COSREM 공법 (신기술 제 596호)	에코텍트 공법 (신기술 제 642호)
공 법 개 요	• 경량 보수모르타르와 통기성 경량 복합 보강 판넬을 활용한 콘크리트 구조물의 보수공법	• 황마섬유 혼입 폴리머 모르타르와 나노메탈 함유 표면보호재를 항온정량배합 분사장비로 시공하는 보수공법
시 공 순 서		
시공성	• 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리머 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호재를 항온 정량 배합 분사 장비로 균일하게 분사하여 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.

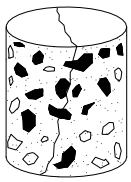
보수공사 후 평가는 구조상 문제가 되지 않는 부분에서 작은 지름의 코어를 채취하여 보수효과를 확인을 행하는 것이 좋다. 또는, 구조물에 대한 보수에 의한 방수효과를 비파괴적으로 확인하는 방법으로서는 가스압입 누수진단기나, 방식효과에 대해서는 전기 화학적인 방법인 분극저항 측정법 등이 제안되고 있다.

가. 코어채취에 의한 평가 방법

1) 콘크리트 코어강도

KS F 2422

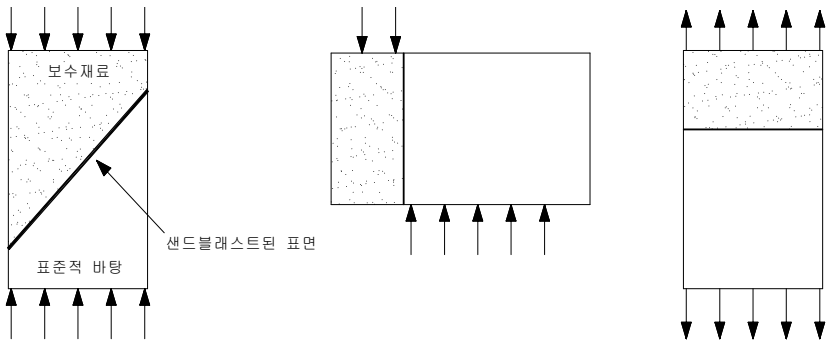
2) 육안에 의한 주입효과 평가



· 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

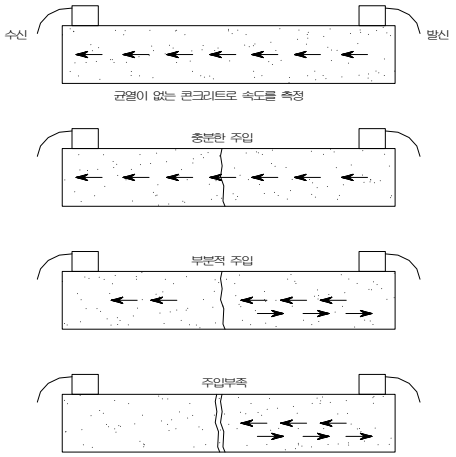
① 경사전단 시험 : 경제적이고 쉬움(부착강도=파괴하중/부착면적)관련 시험법
(ASTM C 881~884, ASTM C 1042, 1059)

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.



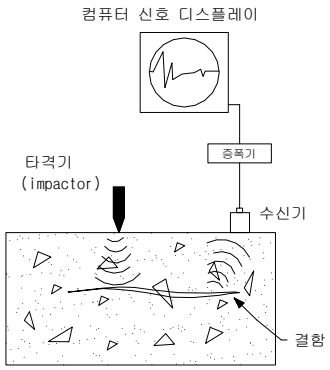
① 균열이 없는 콘크리트 단면에 초기화 (calibration)를 행한다.

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.

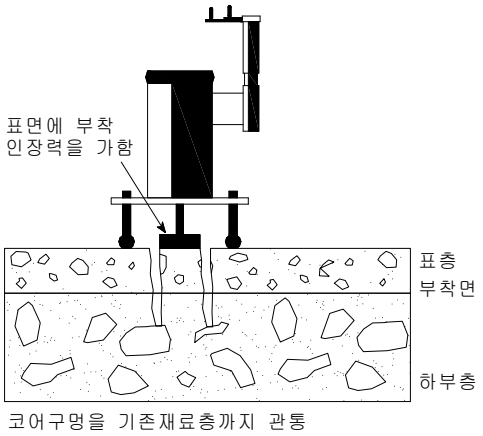
다. 충격음(Impact echo)법

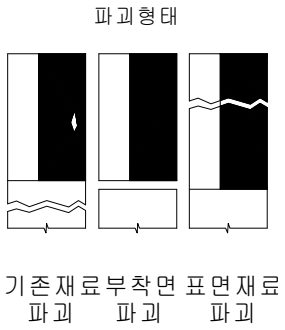


· 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 아래 그림과 같이 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 준다. 보수효과는 보수전과 후의 측정값의 차이와 건전면에서 측정된 값의 비교를 통하여 확인할 수 있다.

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	79.5	19.88	㎡	49	973	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	330.8	330.80	m	130	43,004	-	주입보수
	재균열(0.2㎜이하)	지속관찰	30	7.50	㎡	49	367	-	표면처리
	재균열(0.3㎜이상)	지속관찰	903	903.00	m	130	117,390	-	주입보수
	망상균열	지속관찰	165.29	165.29	㎡	49	8,099	-	표면처리
	철근노출	지속관찰	0.01	0.02	㎡	232	3	-	단면보수(방청)
	박락/들뜸/파손	지속관찰	3.66	5.49	㎡	215	1,180	-	제거 및 단면보수
	재료분리	지속관찰	25	37.50	㎡	215	8,062	-	단면보수
	표면오염	지속관찰	60	90.00	㎡	49	4,410	-	표면처리
	실런트 탈락	실런트 마감	0.4	0.40	m	20	8	3	-
라이닝 (측벽부)	균열(0.2㎜이하)	지속관찰	4.7	1.18	㎡	49	57	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	33	33.00	m	130	4,290	-	주입보수

【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	5.5	1.38	㎡	49	67	-	표면처리
	균열(0.3㎜이상)	지속관찰	18	18.00	m	130	2,340	-	주입보수
	박락/파손	지속관찰	9.66	14.49	㎡	215	3,115	-	단면보수
	공동구 덮개 파손	지속관찰	158	158.00	개소	100	15,800	-	공동구 덮개 재설치
배수시설	집수구 토사 퇴적	정비	4.8	7.20	㎡	80	576	3	-
도로부	포장부 균열	주입보수	103.8	103.80	m	130	13,494	3	-
	길어깨부 균열	주입보수	2.4	2.40	m	130	312	3	-
순공사비 합계(천원)							223,547		
제경비(순공사비×50%)							111,774		
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위						-		
	2순위						-		
	3순위						21,585		
	지속관찰						313,736		
유지보수 개략공사비 총계							335,321		

※ 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

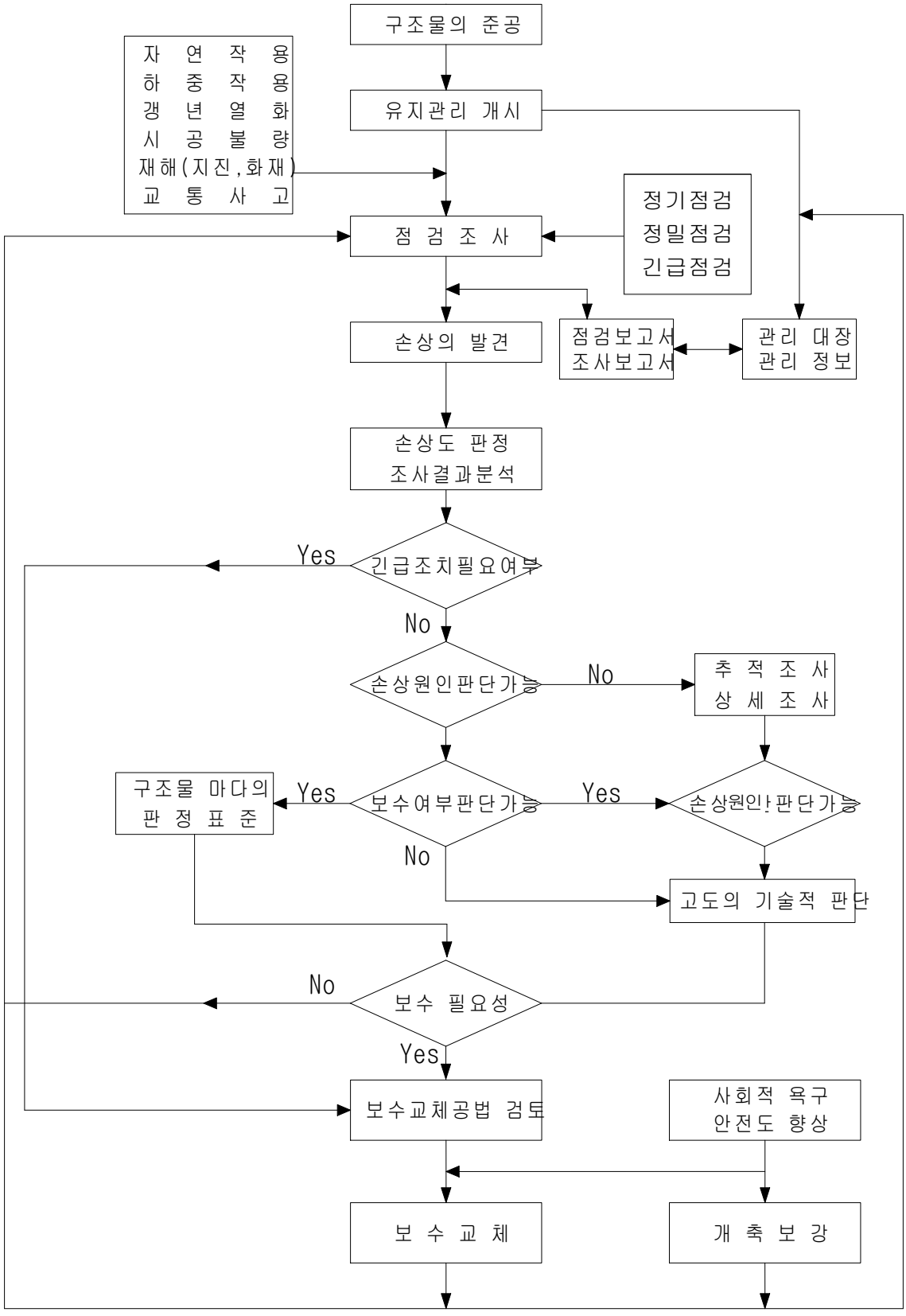
공용중인 시설물은 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정밀점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인하고 그 결함정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 이루어지도록 체계적인 유지관리가 필요하다. 시설물에 발견된 결함은 보수시기를 놓치면 손상 증대로 보수가 어려울 뿐만 아니라 보수비용 증대, 보수기간 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 되어 지속적인 유지관리는 매우 중요하다.

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 ◦ 사진 및 시험결과

◦ 보수·보강이력 ◦ 시설물 관리대장

◦ 사고기록, 점검 및 진단이력 ◦ 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, 고정1터널(부산)은 라이닝 구간에 균열, 박락/들뜸/파손, 재료분리, 공동부에 균열, 박락/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	 신축이음부 들뜸(S6, 어깨부)
공동구	• 균열 진전 여부 • 단면손상(철근노출, 박리/박락) 손상 확대 여부	 단면손상(S87, 파손)
배수시설	• 집수정 및 배수관 내 토사퇴적 여부	 집수정내 토사퇴적
포장부	• 스폴링, 스캘링 손상발생여부 • 포장부 균열 진전 여부	 스폴링(S39)

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

고정1터널(부산방향)은 2006년 2월 준공된 터널로 경상남도 밀양시 상동면 가곡리～산외면 엄광리에 위치하고 있으며, 연장 1,118m, 폭 9.8m, 높이 7.6m의 2차선 터널 이루어져 있고, 평면선형은 직선이며 종단선형은 시점에서 종점으로 약 (+)2.000%이상의 경사를 이루고 있다.

터널본선은 개착(시점 7Span, 종점 3Span)+굴착(NATM, 119Span)터널로 시공된 난형형식의 터널이며, 시・종점측 갱문부는 Bell Mouth로 시공되었고 횡갱1개소, 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 표층유실, 세굴, 식생불량이 조사되었으나, 국부적 경미한 손상으로 주의관찰이 필요하고, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로내 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후, 이물질 제거가 바람직하다.

2) 터널 종점부 주변 조사 결과

- 터널 종점부 사면은 식생이 양호한 상태이며, 특이한 이상 징후는 조사되지 않았다.
- 갱문 출입구는 파손 등이 발생되지 않은 양호한 상태이며, 갱문 주변부도 토사유실, 침하, 공동등이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.
- 터널 상부의 우수처리를 위해 U형 배수로가 설치되어 있으며, 배수로 상태는 전반적으로 양호하나 배수로에 초기 이물질 퇴적이 조사되어 주의관찰 및 보수 계획 수립 후,

이물질 제거가 바람직하다.

3) 콘크리트 라이닝

- 터널내 발생 균열에 대한 원인을 분석한 결과, NATM 구간 중 T-3 구간이 단위 m당 균열연장 1.4m로 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.
- 개착터널 구간의 종방향 균열은 균열 길이가 짧고 연속성이 없으며 일부 균열은 타이홀로 추정되는 주변을 따라 일정 간격으로 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 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.
- 철근노출은 정밀시공 미흡에 의한 피복덮개 부족 손상으로 NATM 구간은 전반적으로 양호하나 개착터널 일부 구간(S124)에 손상 발생이 조사되어 내구성 확보를 위해 단면보수가 바람직하다.
- 터널내 라이닝 부재에 Span간 횡방향 신축이음 주변부의 들뜸/박락, 일부 구간에 재료분리 등의 단면 손상이 조사되었고, 신축이음 들뜸부 콘크리트는 낙하시, 하부 통행차량에 사고발생 가능성이 높아 들뜸부 제거 및 단면보수가 필요하다. 단, 단면보수부의 재손상 발생시 통행차량의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로 정밀 시공이 필요하다.

4) 공동구

- 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구에서 공동구 덮개 파손, 균열, 박락, 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.

- 박락, 파손 손상은 외부 충격, 시공초기 재료 및 시공미흡에 의한 콘크리트 품질 불량 부위에 발생된 손상으로, 터널내 오염물질로 인한 손상 확대가 우려되므로 내구성 확보를 위해 손상부에 대한 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)

- 고정1터널(부산방향)의 도로부(포장면)는 콘크리트포장으로 점검결과, 스캘링, 스폴링, 표면박리, 균열, 망상균열 등의 손상이 조사되었다.
- 스캘링, 스폴링, 파손 손상은 공용시 제설재 사용, 온도변화에 의한 신축거동, 지속적인 차량하중에 의한 손상으로 지속적인 차량통행에 따른 손상확대가 우려되므로 주의관찰 후, 포장부 보수계획에 따라 보수 실시가 바람직하다.
- 균열은 길어깨부에 발생된 손상으로 온도 및 건조수축에 의해 발생된 균열로 터널내 오염물질에 의해 손상확대 가능성이 있어 균열부에 대해 주입보수가 바람직하다.
- 표면박리, 망상균열은 표면부 손상으로 손상정도가 경미하여 손상확대 여부에 대한 주의관찰 및 주기적 점검이 바람직하다.

7) 부대시설

- 고정1터널(부산방향)은 부대시설(비상주차대, 피난연결통로, 제트팬, 소화시설, 비상전화, 조명시설 등)은 지속적인 유지관리로 전반적인 관리상태가 양호한 것으로 조사되었다.

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” 로 평가되나, 일부 개소는 피복두께가 다소 부족하여 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있는 “b” 로 평가되었으므로 주의관찰이 필요하다.

- 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.
- 고정1터널(부산) 천단부와 어깨부에 대한 종방향 2측선과 약 150m마다 횡방향으로 G.P.R탐사를 실시한 결과, S105구간 천단부에 이상반사파가 측정되었으나 범위가 경미하고 라이닝에 특이한 손상이 조사되지 균열 및 변위, 변상여부에 대한 지속적인 주의관찰을 통해 유지관리하는 것이 바람직하 않며 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 -1.975㎜로 크지 않고, 숏크리트의 최대압축응력은 1.465MPa, 록볼트의 최대축력은 28.627kN으로 해석되어, 모두 허용응력(숏크리트 8.400MPa, 록볼트 허용축력 88.70kN) 이내이므로 안전한 것으로 평가되었다.

마. 결 언

- 고정1터널은 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.