

5. 문수터널(부산)

- 5.1 시설물 개요
- 5.2 자료수집 및 분석
- 5.3 현장조사
- 5.4 콘크리트 내구성 조사
- 5.5 상태평가
- 5.6 종합평가 및 안전등급 지정
- 5.7 보수·보강 및 유지관리 방안
- 5.8 종합결론

5. 문수터널(부산)

5.1 시설물의 개요

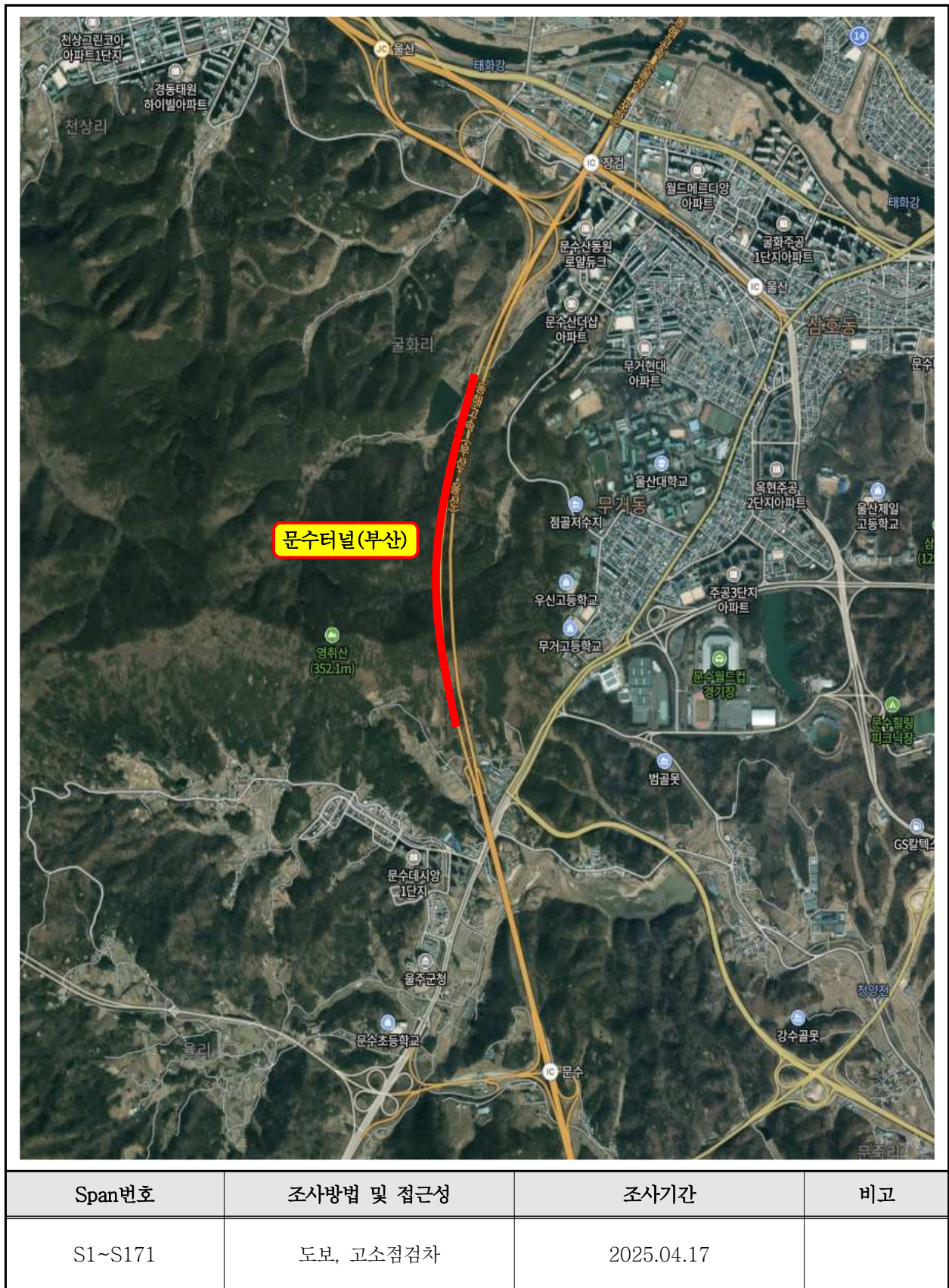
본 시설물인 문수터널(부산)은 울산광역시 울주군 청량읍(고속국도65호선)에 위치한 터널로 2008년 12월에 준공하여 약 17년간 공용중인 시설물이며, 해당 터널은 1종 시설물로서 연장 1,508.0m, 편도 3차로, 평면선형은 곡선(R=1,494.9m), 종단구배는 0.5%, 시공공법은 NATM공법, 갯문은 벨마우스, 환기방식은 강제환기(Jet-Fan) 방식으로 시공되어있다.

5.1.1 일반사항

【표 5.1.1】 문수터널(부산) 일반사항

시설물명	문수터널(부산)	시설물번호	TU2008-0000196
노 선 명	고속국도65호선	관리번호	-
위 치	시점부 : 울산광역시 울주군 청량읍 울리 산 9-5 종점부 : 울산광역시 울주군 범서읍		
터널형식	NATM	관리주체	부산울산고속도로(주)
차 선 수	편도 3차선	환기방식	Jet-Fan
연 장	1,508.0m	설 계 사	한국종합기술(주)
내공단면	폭 : 10.8m(차도), 높이 8.2m	시 공 사	삼성물산, 삼성중공업
배수형식	배수식	감 리 사	-
종단기울기	0.5%	착 공	2001년 09월 17일
평균선형	곡선반경 R=1,494.9m	준 공	2008년 12월 31일
연결통로	피난연락갱 3개소	갯문형식	벨마우스식
주요공법	강섬유보강 슛크리트, 락볼트, 격자지보	보조공법	휘폴링, 강관다단 그라우팅
			
외부 전경		내부 전경	

5.1.2 위치도 및 전경사진



【그림 5.1.1】 위치도

	
진입부 전경	진출부 전경
	
내부 전경	배수구 전경
	
공동구 전경	소화시설 및 비상전화 전경

【그림 5.1.2】 부재별 현황

구 분		표 준 단 면			
표 준 단 면		TYPE-I	TYPE-II	TYPE-III	TYPE-IV
지 반 분 류	지반등급	I	II	III	IV
	RMR	81 이상	80 ~ 61	60 ~ 41	40 ~ 21
굴 진 장	Q	40 이상	10 ~ 40	1 ~ 10	0.1 ~ 1
	상 반	3.0	2.0	2.0	1.2
	하 반	4.0	4.0	3.0	2.4
지 보	형 식	강철유보강	강철유보강	강철유보강	강철유보강
	1차두께(mm)	50	80	80	80
	2차두께(mm)	-	-	40	80
	소 계(mm)	50	80	120	160
	길 이(m)	4.0	4.0	4.0	5.0
	간 격	랜덤	2.0	2.0	1.2
	휨방향	랜덤	2.0	1.5	1.5
	강지보재	규격	-	-	LG-70X20X30
	간격	-	-	-	1.2
	콘크리트라이닝	형식	무근	무근	무근
보 조 공 법		-	-	-	필요시 Fore-Poling
적 용 구 간	부산방향	-	200.000M	580.000M	440.000M
	울산방향	-	240.000M	510.000M	430.000M
비 고					

부산-울산고속도로

설계사

시공사

감리사

도목

건설단계

준공

(주) 한국종합기술

상정물산(주)

2008.12

2009.10

2009.10

2009.10

문수터널

부산-울산고속도로

터널

2

문수터널

문수터널

문수터널

문수터널

구구/이항

제9공구

0+000.00~0+050.00

NONE

도면번호

C0060203-010

필수번호

2.014

문수터널

부산-울산고속도로

터널

2

문수터널

문수터널

문수터널

문수터널

구구/이항

제9공구

0+000.00~0+050.00

NONE

도면번호

C0060203-010

필수번호

2.014

【그림 5.1.4】 표준 지보패턴표 - 1

구 분		표 준 단 면			
표 준 단 면		TYPE-V	TYPE-VI	TYPE VI-1	TYPE VI-2
지 반 분 류	지반등급	V	VI	러플함	토사
	RMR	20 이하	경구부	경구부	경구부
굴 진 장	Q	0.01 ~ 0.1	-	총화양 구간	토사 구간
	상 반	1.0	0.8	0.8	0.8
	하 반	1.0	0.8	0.8	0.8
지 보	형 식	강철유보강	강철유보강	강철유보강	강철유보강
	1차두께(mm)	80	80	80	80
	2차두께(mm)	80	80	80	80
	소 계(mm)	160	160	160	160
	길 이(m)	5.0	5.0	6.0 중벽4.0	6.0
	간 격	1.0	0.8	0.8	0.8
	휨방향	1.2	1.0	1.0	1.0
	강지보재	규격	H-150X150X7X10	H-150X50X7X10	H-150X50X7X10
	간격	1.0	0.8	0.8	0.8
	콘크리트라이닝	형식	무근	철근	철근
보 조 공 법		Fore-Poling	강관다단그라우팅	강관다단그라우팅	강관다단그라우팅
적 용 구 간	부산방향	50.000M	20.000M	48.000M	10.000M
	울산방향	135.000M	20.000M	15.000M	13.000M
비 고		보조공법 적용 시 경구부 27m 구간, 1차두께 80mm 선후 20m 구간 모두 적용			

부산-울산고속도로

설계사

시공사

감리사

도목

건설단계

준공

(주) 한국종합기술

상정물산(주)

2008.12

2009.10

2009.10

2009.10

문수터널

부산-울산고속도로

터널

2

문수터널

문수터널

문수터널

문수터널

구구/이항

제9공구

0+000.00~0+050.00

NONE

도면번호

C0060203-011

필수번호

2.015

문수터널

부산-울산고속도로

터널

2

문수터널

문수터널

문수터널

문수터널

구구/이항

제9공구

0+000.00~0+050.00

NONE

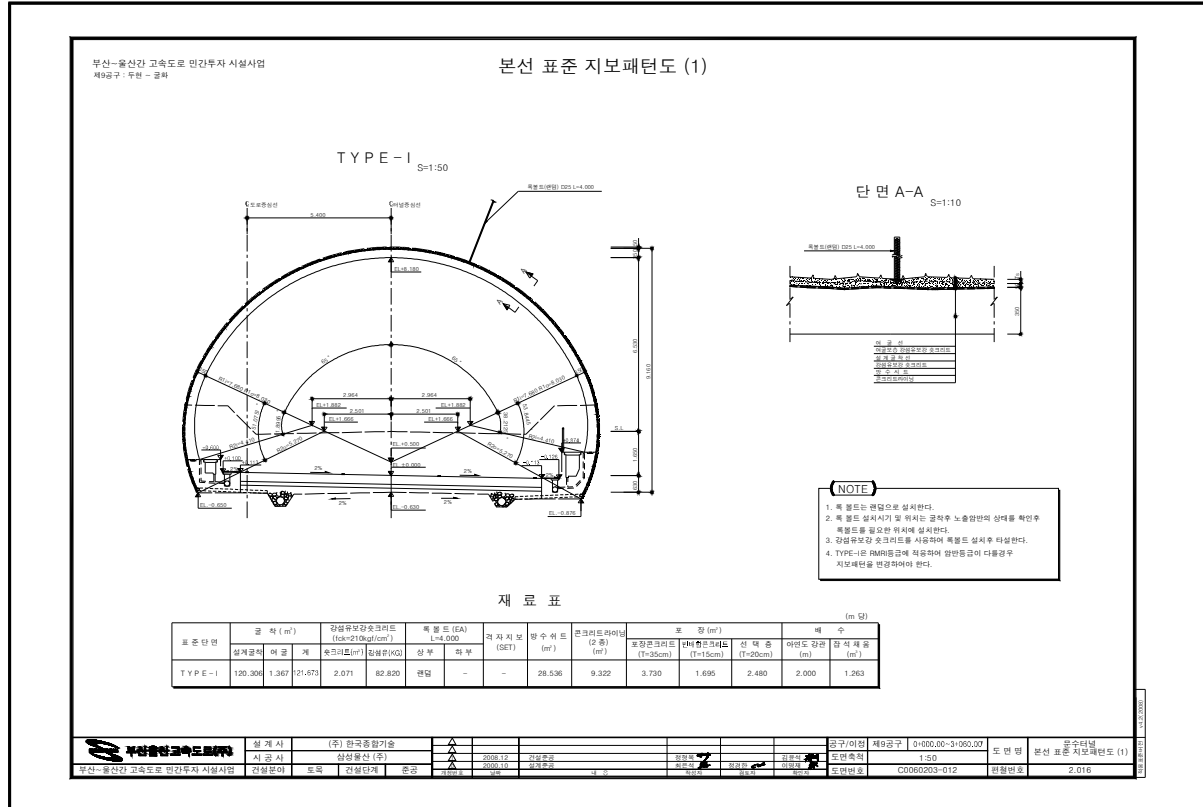
도면번호

C0060203-011

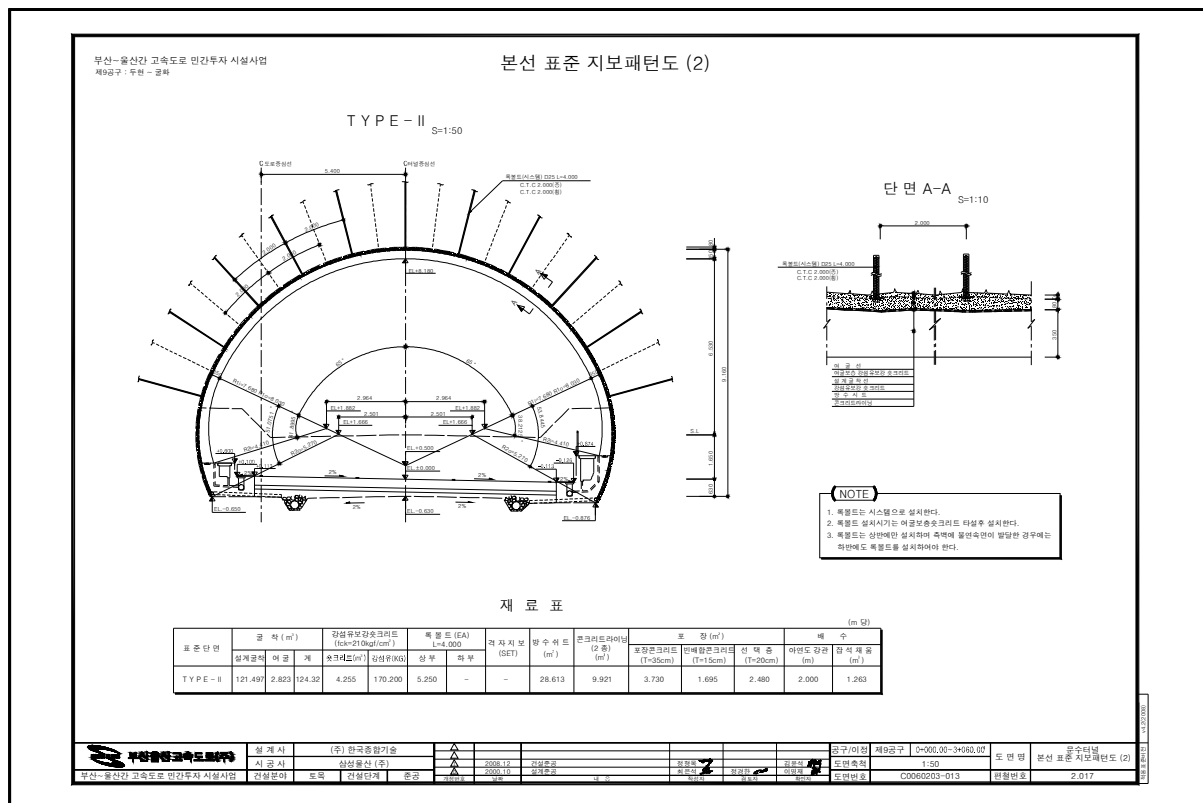
필수번호

2.015

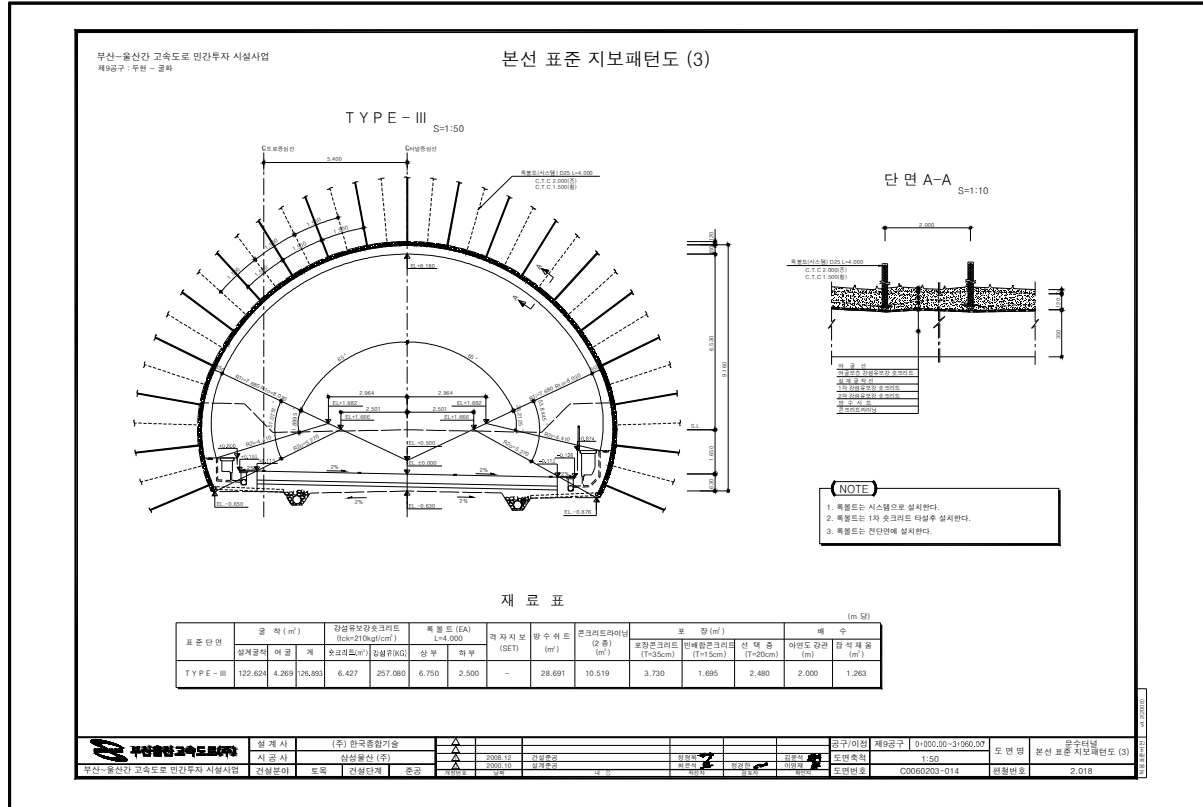
【그림 5.1.5】 표준 지보패턴표 - 2



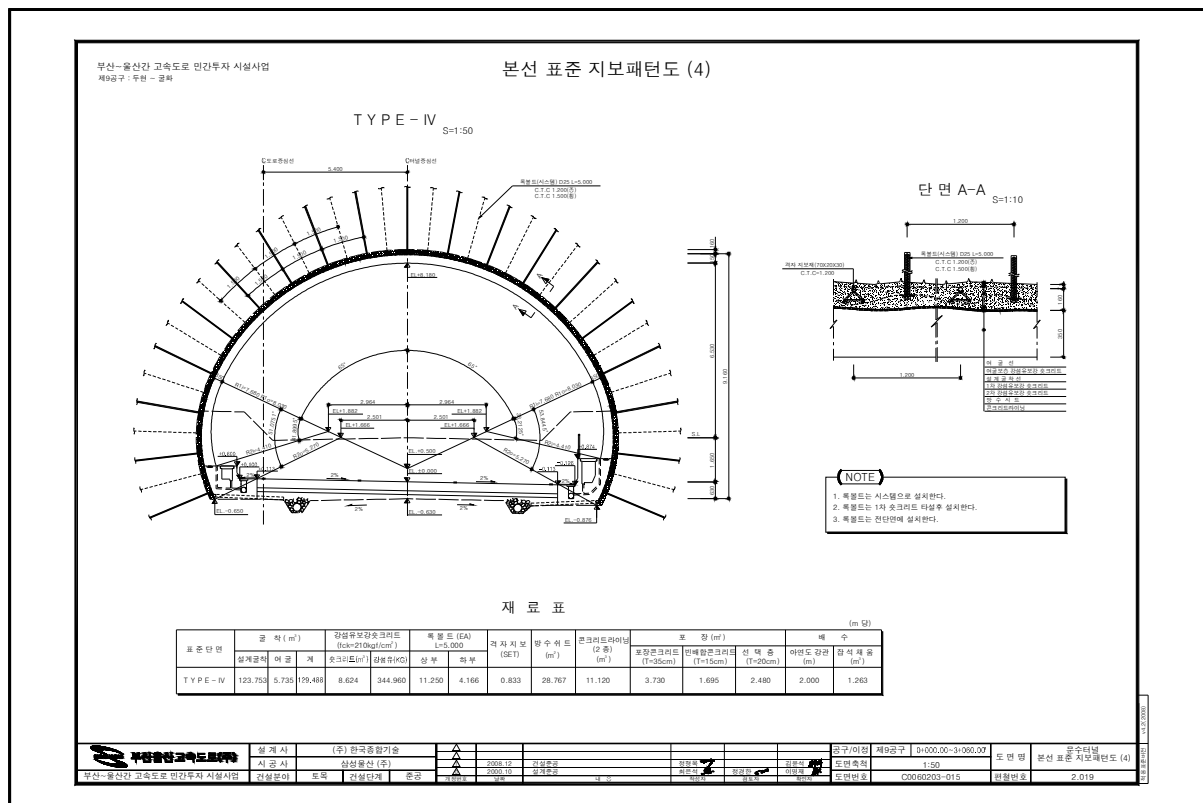
【그림 5.1.6】 표준 지보패턴도 - 1



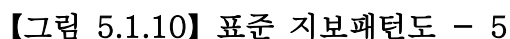
【그림 5.1.7】 표준 지보패턴도 - 2

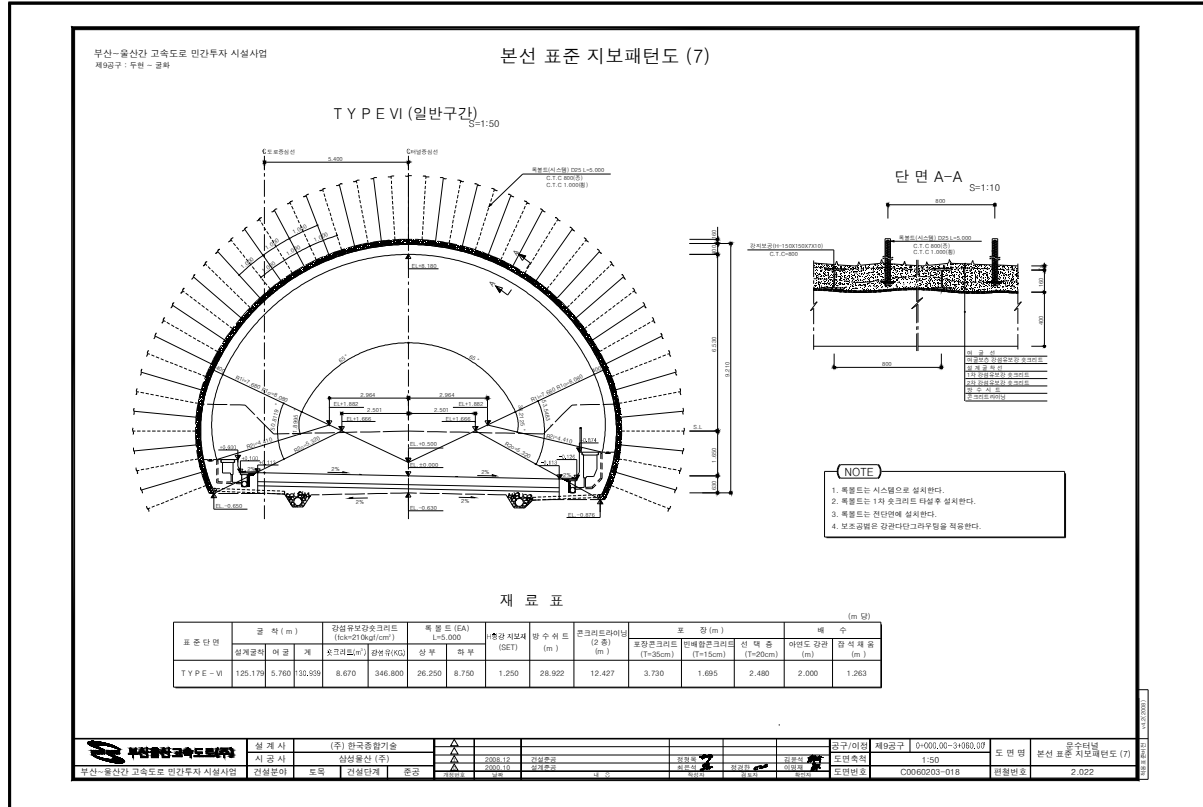


【그림 5.1.8】 표준 지보패턴도 - 3

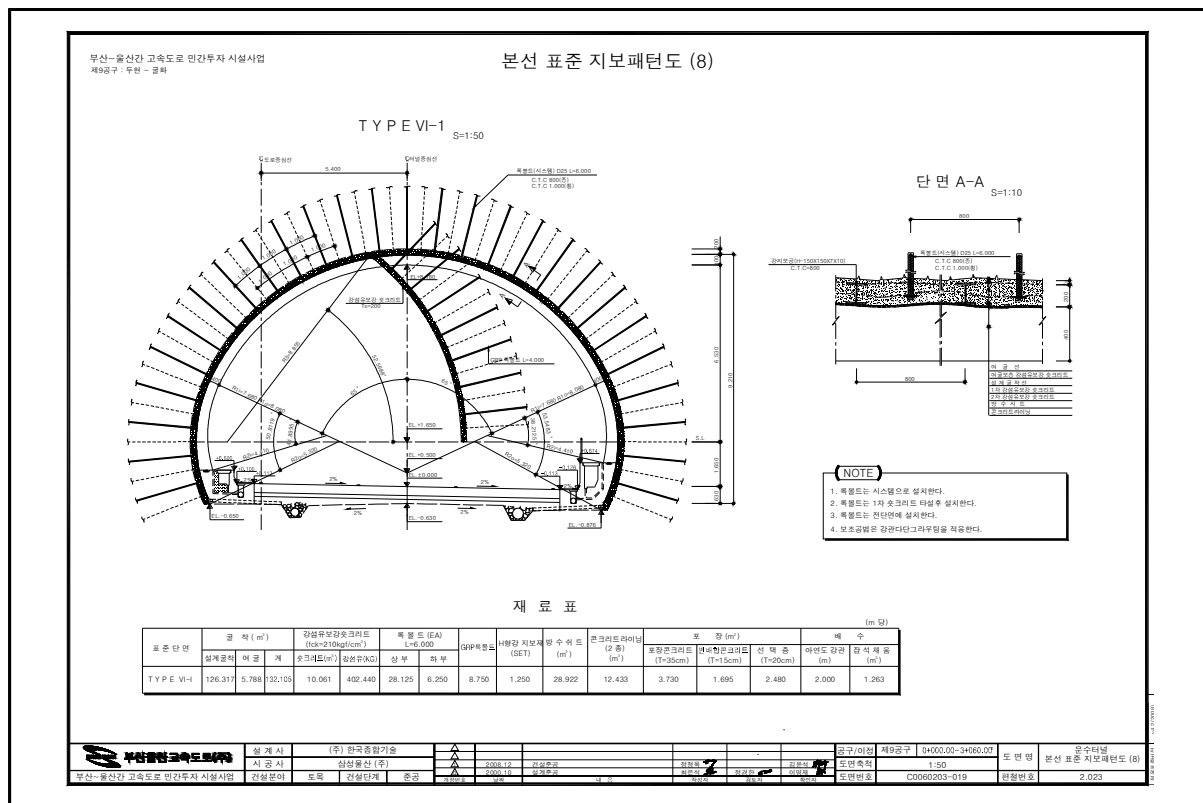


【그림 5.1.9】 표준 지보패턴도 - 4

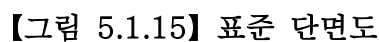
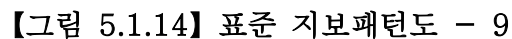


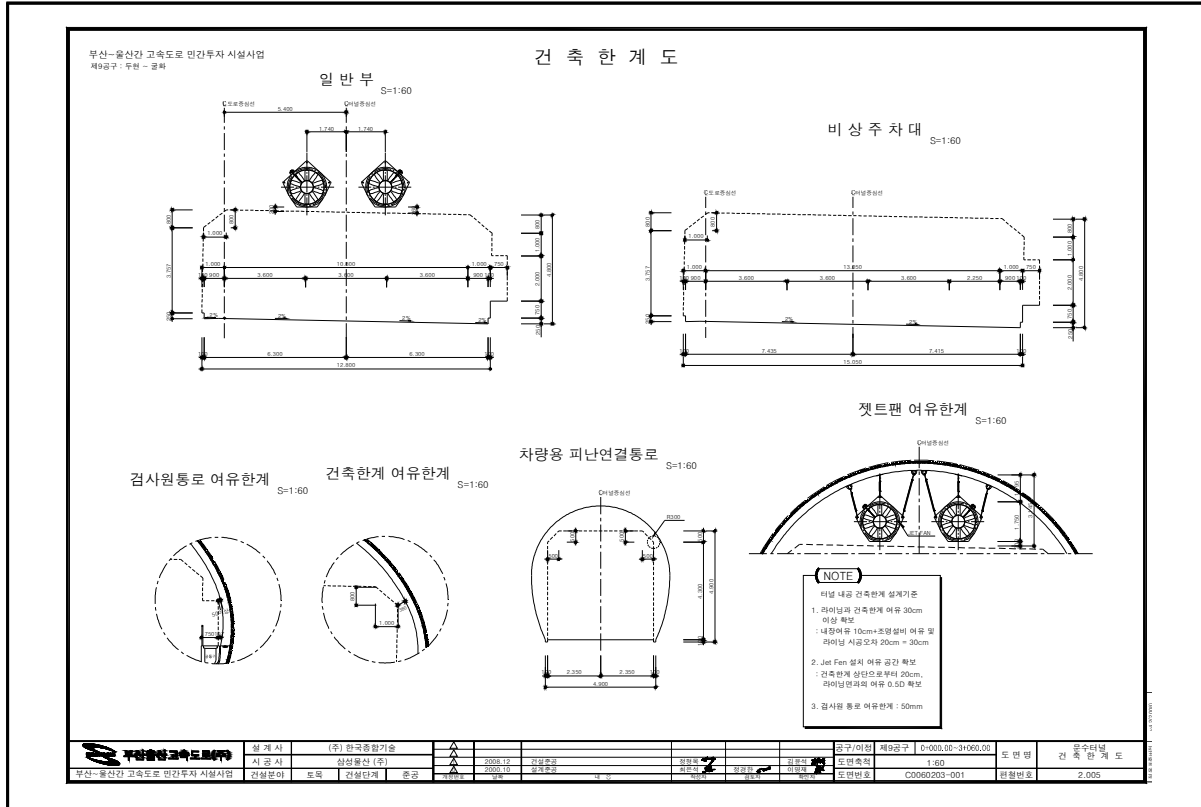


【그림 5.1.12】 표준 지보패턴도 - 7

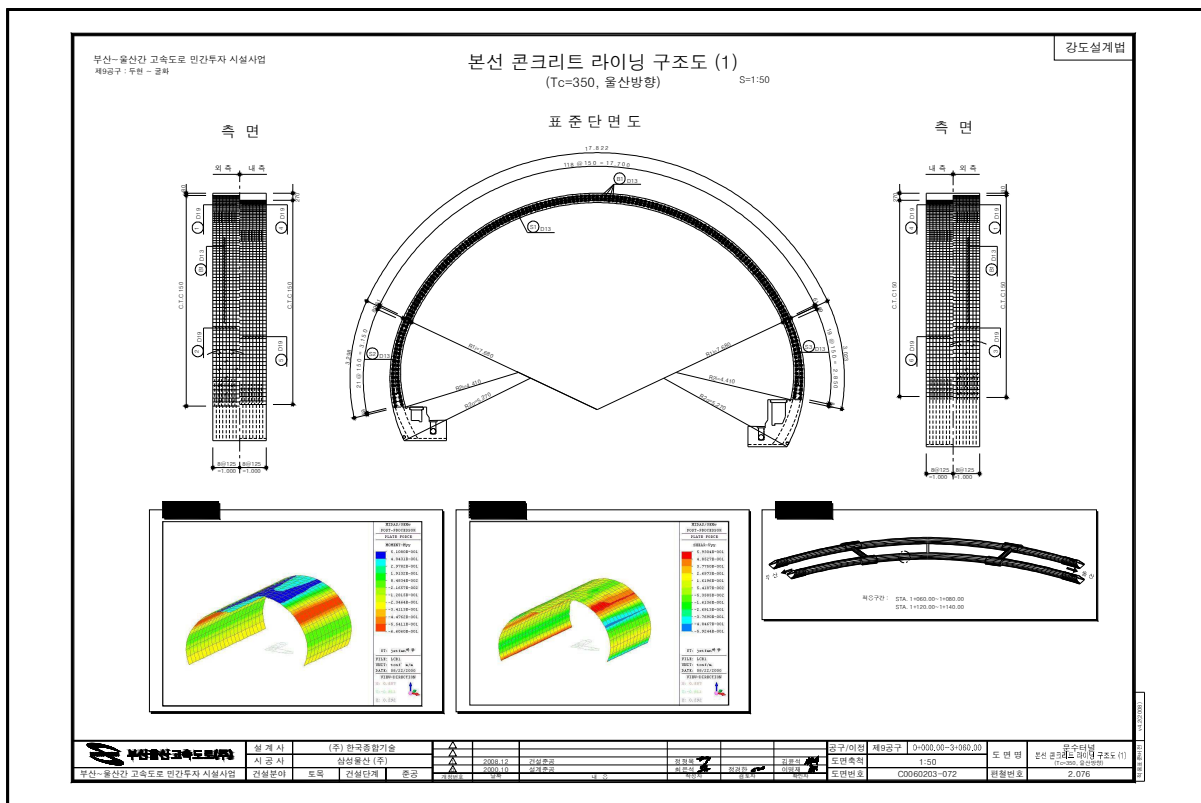


【그림 5.1.13】 표준 지보패턴도 - 8

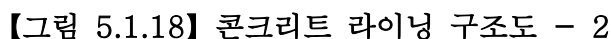


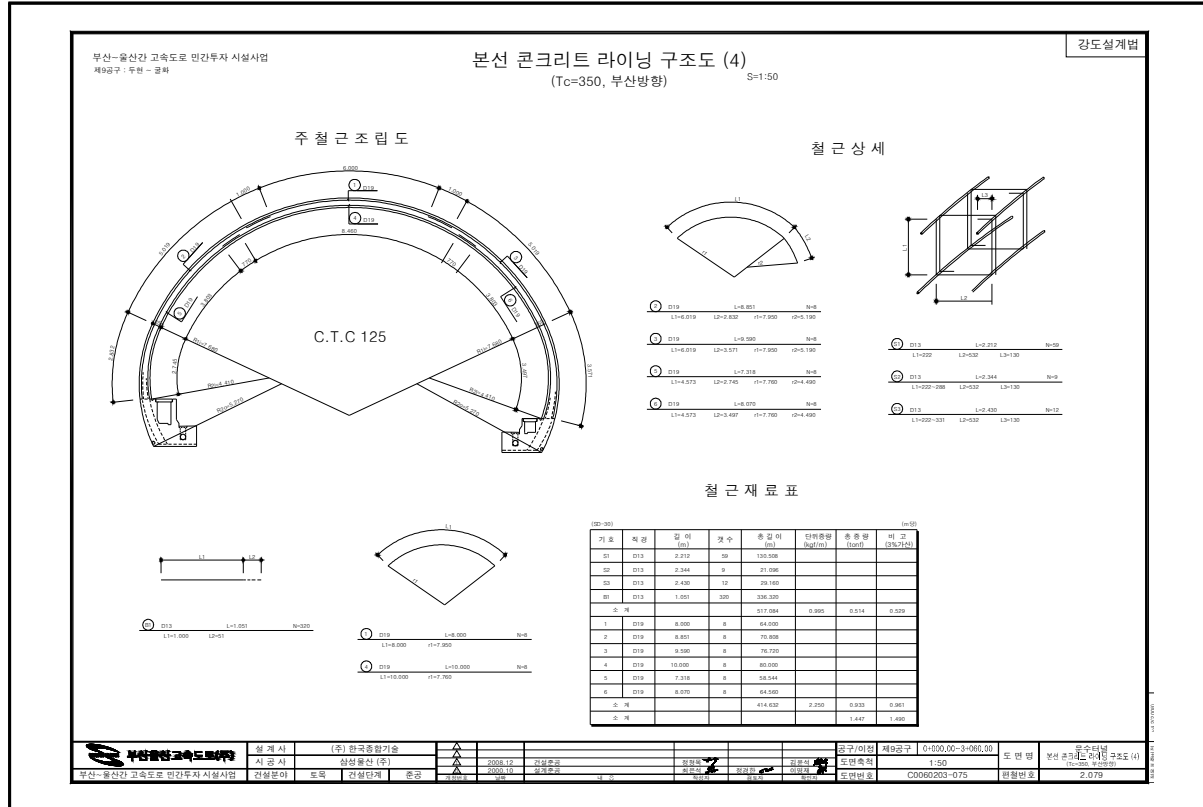


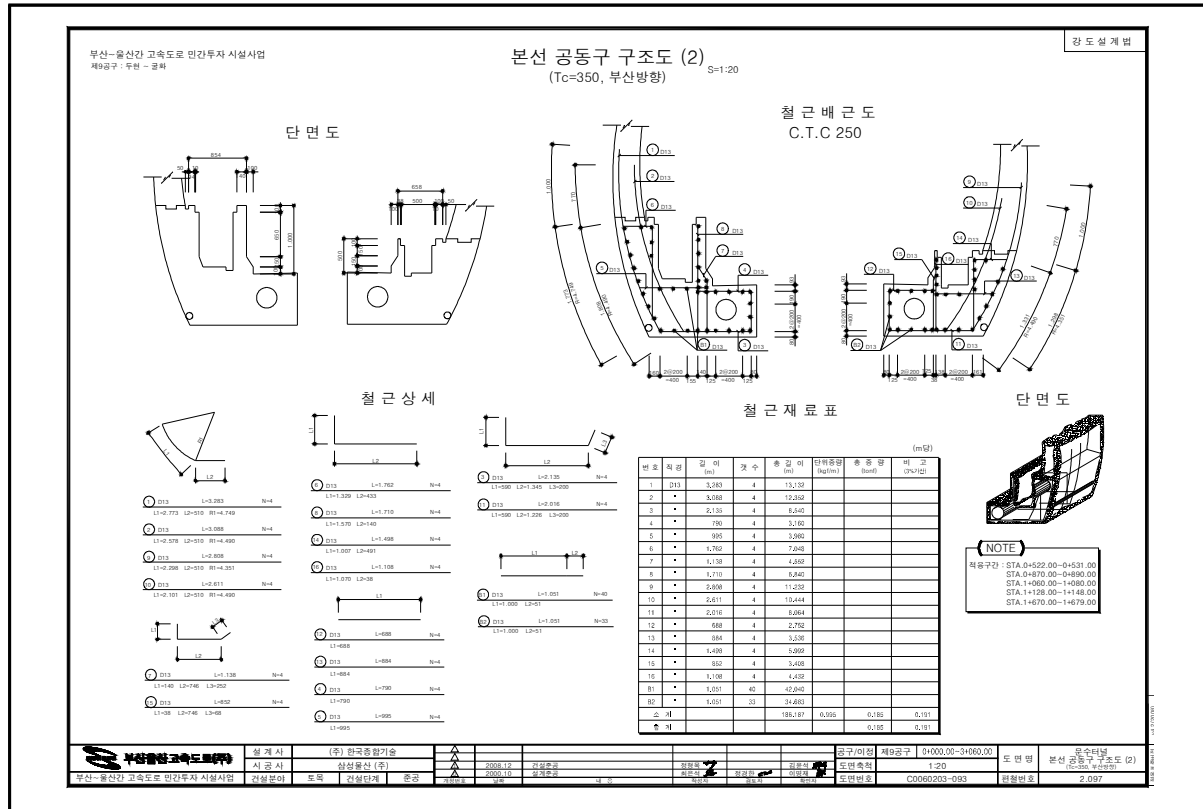
【그림 5.1.16】 건축한계도

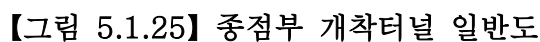
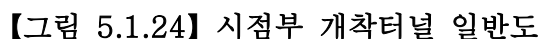


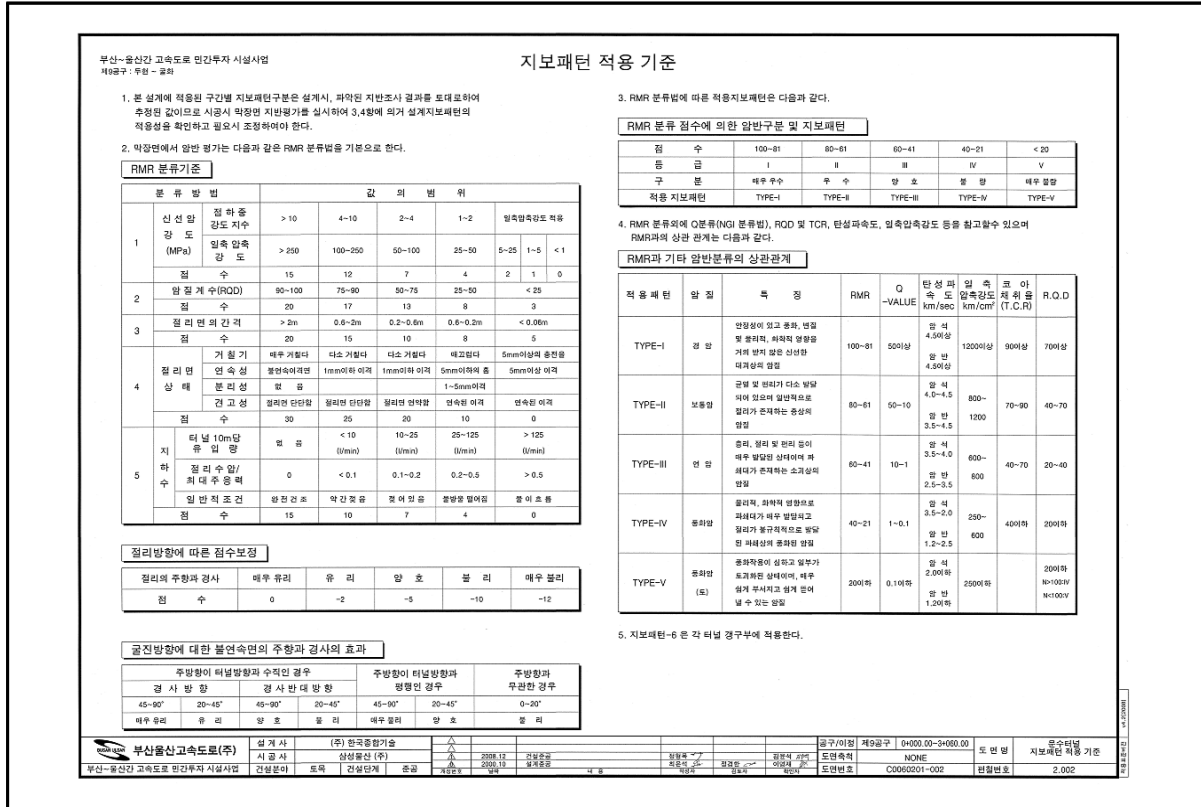
【그림 5.1.17】 콘크리트 라이닝 구조도 - 1



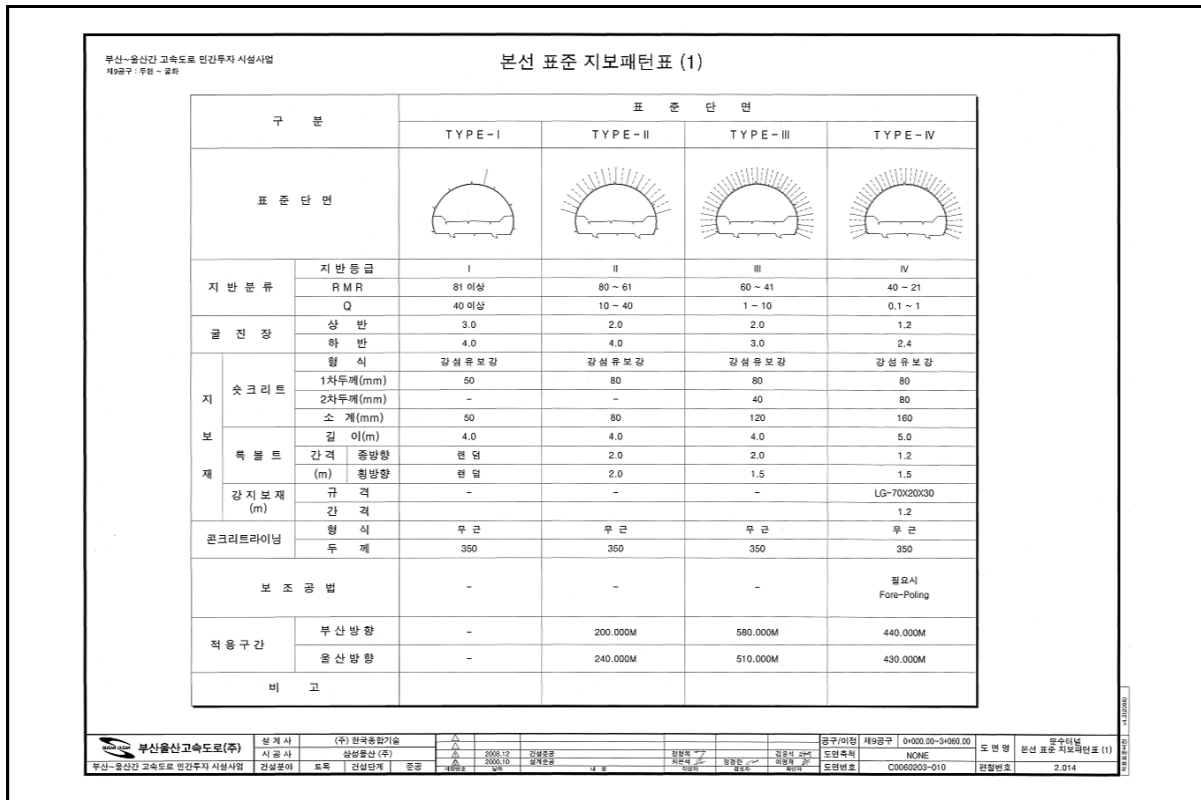








【그림 5.1.26】 지보패턴 적용기준



【그림 5.1.27】 표준 지보패턴표 - 1

구 분		표 준 단 면			
표 준 단 면		TYPE-V	TYPE-VI	TYPE VI-1	TYPE VI-2
지 반 분 류		V	VI	리필암	토사
굴 진 장	지반등급	20 이하	경구부	경구부	경구부
	RMR	0.01 ~ 0.1	-	중화암 구간	토사 구간
굴 진 장	상 반	1.0	0.8	0.8	0.8
	하 반	1.0	0.8	0.8	0.8
지 보 재	스 크 리 트	형 식	강섬유보강	강섬유보강	강섬유보강
		1차두께(mm)	80	80	80
		2차두께(mm)	80	80	80
		소 계(mm)	160	160	160
	복 물 트	길 이(m)	5.0	5.0	6.0 중벽4.0
		간 격	1.0	0.8	0.8
		중방향	1.2	1.0	1.0
	강 지 보 재 (m)	규 격	LG-95X22X32	H-150X150X7X10	H-150X50X7X10
콘크리트라이닝	간 격	1.0	0.8	0.8	0.8
	형 식	무 근	철 근	철 근	철 근
보 조 공 법		두 계	400	400	400
비 고		Fore-Poling	강관다단그라우팅	강관다단그라우팅	강관다단그라우팅
적 용 구 간	부 산 방 향	50.000M	20.000M	48.000M	10.000M
	울 산 방 향	135.000M	20.000M	15.000M	13.000M
비 고		보조공법 적용 및 경구부 27m구간, 피난선 중화로 전후 20m 구간 철근 보강			

【그림 5.1.28】 표준 지보패턴표 - 2

5.2 자료수집 및 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황, 시설물의 이력 등을 파악하기 위해 설계 및 준공도서, 점검이력, 보수·보강이력 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

5.2.1 설계자료 검토

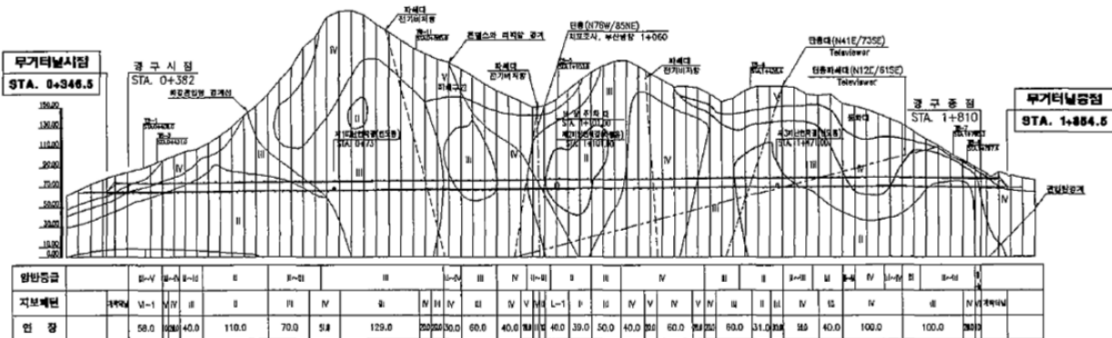
가. 자료수집 및 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
설계 도서	◦ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	◦부산-울산간 고속도로 민간투자 시설사업 제9공구 공사시방서, 구조계산서, 준공내역서, 토질조사보고서, 설계도(준공) (2008, 부산울산고속도로(주))
	◦ 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(중·횡) - 상,하단부 구조물도	보유	
시설물 관리대장	◦ 기본 현황 ◦ 상제 제원 ◦ 유지관리 이력	보유	◦시설물정보관리 종합시스템(FMS) 보유
시공관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 ◦ 사고기록	보유	◦부산-울산간 고속도로 민간투자 시설사업 제9공구 품질관리계획서 (준공) (2008, 부산울산고속도로(주))
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	◦시설물정보관리 종합시스템(FMS) (2009년 ~ 2024년 정기안전점검, 정밀안전점검, 정밀안전진단) ◦2023년 정밀안전점검 ◦2024년 정밀안전진단
시설물 보수·보강 자료		미보유	◦주기적인 보수실시 ◦보강 미실시

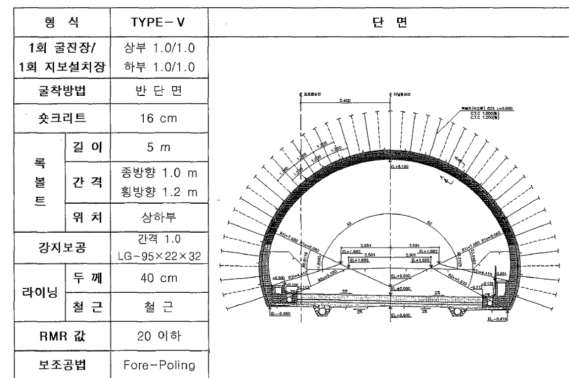
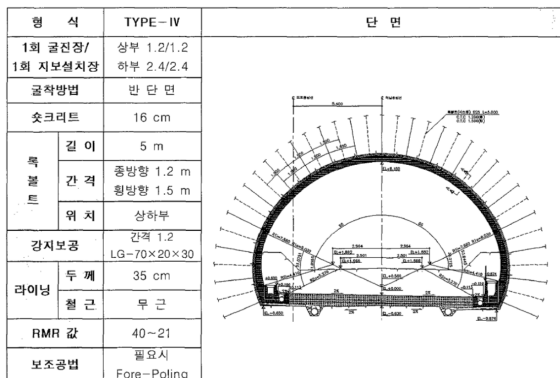
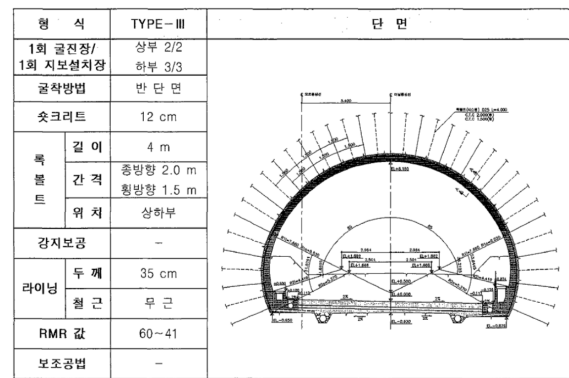
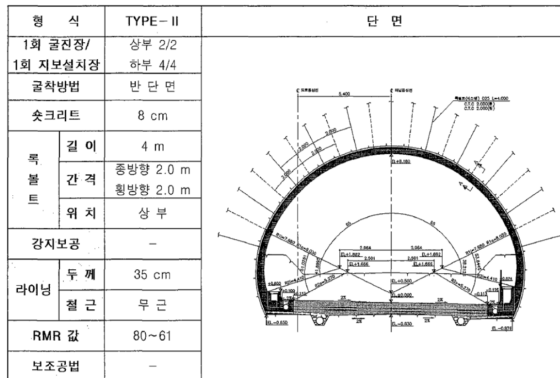
나. 구조계산서 검토

- ▶ 본선구간 지보타입(Ⅱ~Ⅴ)별 대표단면을 선정하여 지반 및 지보재의 안정성을 검토하고, 지보타입 Ⅵ~Ⅵ-1구간은 특수구간으로 분류하여 해석을 수행함

가. 지보패턴 개요도



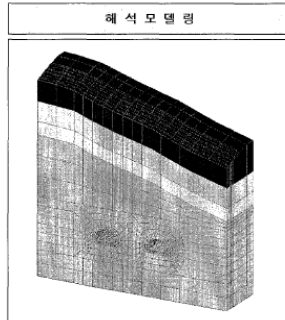
구분	지보타입 II	지보타입 III	지보타입 IV	지보타입 V
부산방향 기준	180m	609m	471m	70m



3.1 3차원 해석

가. 해석개요

- 터널 시공에 따른 응력-변형을 관계를 해석적인 방법으로 실제 시공상황과 유사하게 모사하기 위해서는 지반형상, 지반의 특성치 변화, 지보재 특성치 및 실제시공순서 등을 고려한 3차원 해석이 필수적임.
- TYPE-II 적용구간중 STA.1+450(부산방향)에 대하여 막장 전면부의 중방향 하중전이 효과를 고려한 3차원 수치해석을 수행하여 지보재의 적정성을 평가함.
- 적용 프로그램 : PENTAGON-3D
- 해석모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용 지반등급 : 지반등급 2,3,4,5
- 굴착공법 : 상·하반 반단면굴착



나. 해석조건

● 지보재면

구분	구분		해석단면
	굴착공법	상·하반 반단면굴착	
지보재면	굴진장(상반/하반)	2.0/4.0	
	숏크리트두께	8 cm	
	록 볼트길이	L = 4.0m	
	중방향 2.0	횡방향 2.0	

● 지반특성치

지반등급	단위중량(t/m³)	점착력(t/m²)	내부마찰각(deg)	포아송비	변형계수(t/m²)
2	2.6	100	43	0.20	1,000,000
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000
5	2.0	10	33	0.30	60,000

제3편 터널안전성 검토

다. 해석결과 요약

● 검토 결과

- Mohr-Coulomb모델을 적용하여 지보 TYPE-II 구간에 대한 안정성 검토결과 변위 및 지보재의 응력이 모두 허용치 이내로 안정함

● 변위 검토

구분	부산 방향		울산 방향		판정
	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	
K ₀ = 1.0	2.506	1.216	2.280	1.742	안정
K ₀ = 1.5	1.848	2.730	1.796	3.342	안정
K ₀ = 2.0	1.244	4.295	1.363	5.180	안정

● 지보재 검토

구분	부산 방향		울산 방향		판정
	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	
K ₀ = 1.0	21.32	0.935	19.86	0.863	안정
K ₀ = 1.5	26.63	1.012	25.79	1.011	안정
K ₀ = 2.0	34.18	1.246	35.91	1.227	안정

● 허용응력 검토

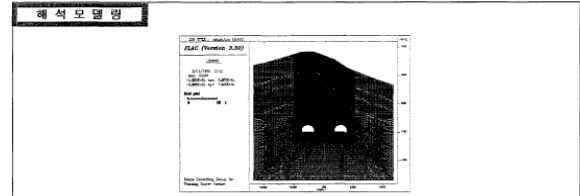
- 허용휨압축응력
 $\sigma_{cm} = 0.4 \sigma_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kg/cm}^2$
- 허용전단응력
 $\tau_a = 0.25 \sqrt{\sigma_{ck}} = 0.25 \times \sqrt{210} = 3.62 \text{ kg/cm}^2$
- 허용복합트축력
 $P_a = 0.5 \sigma_c A = 0.5 \times 3500 \times 4.91 = 8600 \text{ kg} = 8.6 \text{ t}$

제3편 터널안전성 검토

3.2 2차원 연속체 해석 (Mohr-Coulomb Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-II 구간중 대표단면 STA 1+450에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용응력계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 70 - 15 - 15 (%)



나. 지반 및 지보재 특성치

● 지반특성치

구분	단위중량(t/m³)	점착력(t/m²)	내부마찰각(deg)	포아송비(ν)	변형계수(t/m²)	축압계수
지반등급 5	2.0	10	33	0.30	60,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 4	2.3	50	35	0.27	200,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 3	2.5	80	40	0.24	500,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 2	2.6	100	43	0.20	1,000,000	1.0 ~ 2.0

● 지보재 특성치

구분	압축강도(kg/cm²)	탄성계수(t/m²)	단위중량(t/m³)	포아송비(ν)	단면적(m²)
연한 숏크리트	100	500,000	2.4	0.2	8E-2
강한 숏크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	8E-2
록 볼트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

제3편 터널안전성 검토

3.3 2차원 연속체 해석 (Hoek & Brown Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-II 구간중 대표단면 STA 1+450에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Hoek & Brown Model
- 적용응력계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 70 - 15 - 15 (%)

나. 지반 및 지보재 특성치

● Hoek & Brown 강도정수 산정결과 (세부사항 2면 참조)

구분	Tsuchiya	Trueman	김교원	Hoek-Brown	암석시험
2	C(t/m²)	1293	961	392	834~1673
	φ(deg)	41.9	41.5	44.0	40.8~44.4
3	C(t/m²)	1136	391	62	487~881
	φ(deg)	40.9	32.5	38.2	31.7~40.5

- 본 해석에서는 삼축압축시험의 결과에 기인하여 지반등급 2, 3에 대해 Hoek & Brown의 강도정수를 적용하였음.
- Hoek & Brown 방법에 의해 산정한 강도정수값은 최대값을 나타내므로 70% 감소시킨 값을 적용함 (Hoek 1997)

■ 적용강도정수

- 지반등급 2 : C = 500(t/m²), φ = 44°
- 지반등급 3 : C = 300(t/m²), φ = 40°

● 지보재 특성치

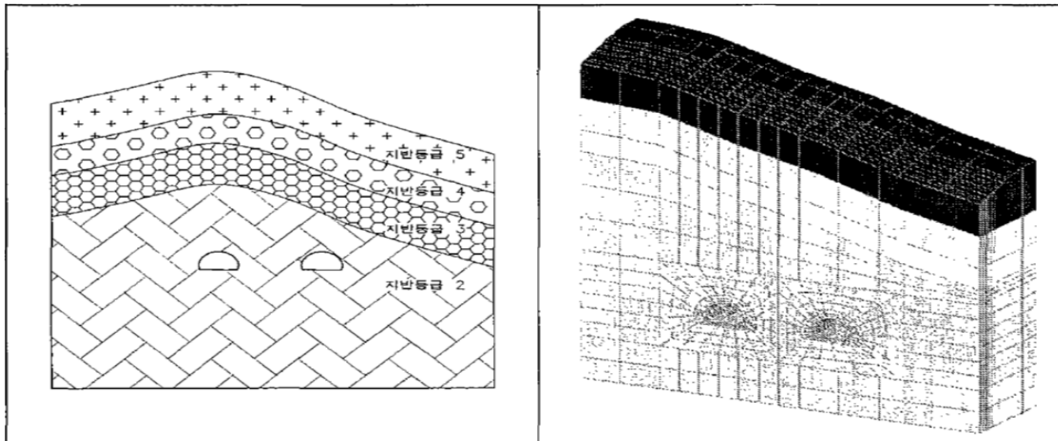
구분	압축강도(kg/cm²)	탄성계수(t/m²)	단위중량(t/m³)	포아송비(ν)	단면적(m²)
연한 숏크리트	100	500,000	2.4	0.2	8E-2
강한 숏크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	8E-2
록 볼트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

▶ 지보타입 II 해석결과

▪ 해석위치의 특징

- TYPE-II 적용구간 중 상대적으로 지반조건이 취약함
- 터널통과부분은 지반등급 2, 상부는 3, 4, 5등급 지반으로 구성됨
- 지반선까지 해석영역에 포함
- 해석위치의 암종은 퇴적암임

▪ 해석단면(STA.1+450, 부산방향기준)



▪ 해석결과

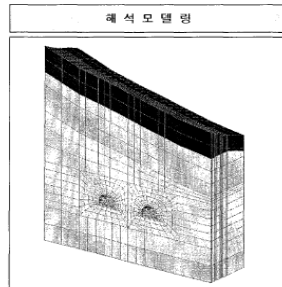
검 토 항 목	3차원 해 석	2차원 연속체 해석				퇴적암 고려한 해 석	2차원 불연속 체해석	키블력 안정성 해 석	검토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	H/B (최대값)	D/P (최대값)	이방성 (최대값)	B/B (최대값)			
좌측천단 변위(mm)	1.79	2.51	2.47	2.66	2.41	6.67		쇄 기 파 괴 가능성 없 음	안정
우측천단 변위(mm)	1.91	2.28	2.27	2.41	1.89	5.40			안정
좌측내공 변위(mm)	3.50	4.30	4.21	5.49	2.98	8.40			안정
우측내공 변위(mm)	3.43	5.18	5.09	6.34	3.63	7.27			안정
휨압축응력 (kg/cm ²)	35.9	39.7	32.8	68.2	35.6	12.4			안정
축압축력 (ton)	1.99	1.25	1.24	2.87	1.12	6.14			안정

제3편 터널안전성 검토

4.1 3차원 해석

가. 해석개요

- 터널 시공에 따른 응력-변형률 관계를 해석적인 방법으로 실제 시공상황과 유사하게 모사하기 위하여 지반형상, 지반의 특성치 변화, 지보재 특성치 및 실제시공순서 등을 고려한 3차원 해석이 필수적임.
- TYPE-III 적용구간중 STA.0+980(부산방향)에 대하여 막장 전면부의 증방향 하중전이 효과를 고려한 3차원 수치해석을 수행하여 지보 패턴의 적정성을 평가함.
- 적용 프로그램 : PENTAGON-3D
- 해석모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용 지반등급 : 지반등급 3,4,5
- 굴착공법 : 상·하반 반단면굴착



나. 해석조건

● 지보패턴

구분	구분		해석단면
	굴착공법	상·하반 단면굴착	
지보패턴	굴진장(상반/하반)	2.0/3.0	
	숏크리트 두께	12 cm	
	폭발로 길이	L = 4.0m	
	간격	총방향 2.0 횡방향 1.5	

● 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비	변형계수 (t/m²)
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000
5	2.0	10	33	0.30	60,000

- 643 -

제3편 터널안전성 검토

다. 해석결과 요약

● 검토 결과

- Mohr-Coulomb 모델을 적용하여 지보 TYPE-III구간의 대표단면에 대한 안정성 검토 결과 변위 및 지보재의 응력은 모두 허용치 이내로 안정함

● 변위 검토

구분	좌측터널		우측터널		판정
	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	
K ₀ = 1.0	3.036	2.086	2.763	2.425	안정
K ₀ = 1.5	2.194	4.273	2.407	4.552	안정
K ₀ = 2.0	1.400	6.499	2.093	6.714	안정

● 지보재 검토

구분	좌측터널		우측터널		판정
	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	
K ₀ = 1.0	38.08	1.092	39.28	1.092	안정
K ₀ = 1.5	50.45	1.188	49.68	1.156	안정
K ₀ = 2.0	63.77	1.255	63.04	1.267	안정

● 허용응력 검토

- 허용휨압축응력
 $\sigma_{ca} = 0.4 \sigma_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kg/cm}^2$
- 허용전단응력
 $\tau_{ca} = 0.25 \sqrt{\sigma_{ck}} = 0.25 \times \sqrt{210} = 3.62 \text{ kg/cm}^2$
- 허용박빙트출력
 $P_{ca} = 0.5 \sigma_y A = 0.5 \times 3500 \times 4.91 = 8600 \text{ kg} = 8.6 \text{ t}$

- 649 -

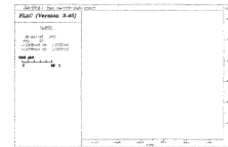
제3편 터널안전성 검토

4.2 2차원 연속체 해석(Mohr-Coulomb Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-III 구간중 대표단면 STA 0+980에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용축압계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)

해석모델링



나. 지반 및 지보재 특성치

● 지반특성치

구분	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비 (ν)	변형계수 (t/m²)	축압계수
지반등급 5	2.0	10	33	0.30	60,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 4	2.3	50	35	0.27	200,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 3	2.5	80	40	0.24	500,000	1.0 ~ 2.0

● 지보재 특성치

구분	압축강도 (kg/cm²)	단성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 숏크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.2E-1
강한 숏크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.2E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

- 648 -

제3편 터널안전성 검토

4.3 2차원 연속체 해석(Hoek & Brown Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-III 구간중 대표단면 STA 0+980에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Hoek & Brown Model
- 적용축압계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)

나. 지반 및 지보재 특성치

● Hoek & Brown 강도정수 산정결과

구분	Tsuchiya	Trueman	김교원	Hoek-Brown	암석시험
2	C (t/m²)	1293	961	392	834~1673
	φ (deg)	41.9	41.5	44.0	40.8~44.4
3	C (t/m²)	1136	391	62	487~881
	φ (deg)	40.9	32.5	38.2	31.7~40.5

- 본 해석에서는 삼축압축시험의 결과에 기인하여 지반등급 2, 3에 대해 Hoek & Brown의 강도정수를 적용하였음.
- Hoek & Brown 방법에 의해 산정한 강도정수 값은 최대값을 나타내므로 70%정도 감소시킨 값을 적용하였음 (Hoek 1997)

■ 적용강도정수

- 지반등급 3 : C = 300(t/m²), φ = 40°

● 지보재 특성치

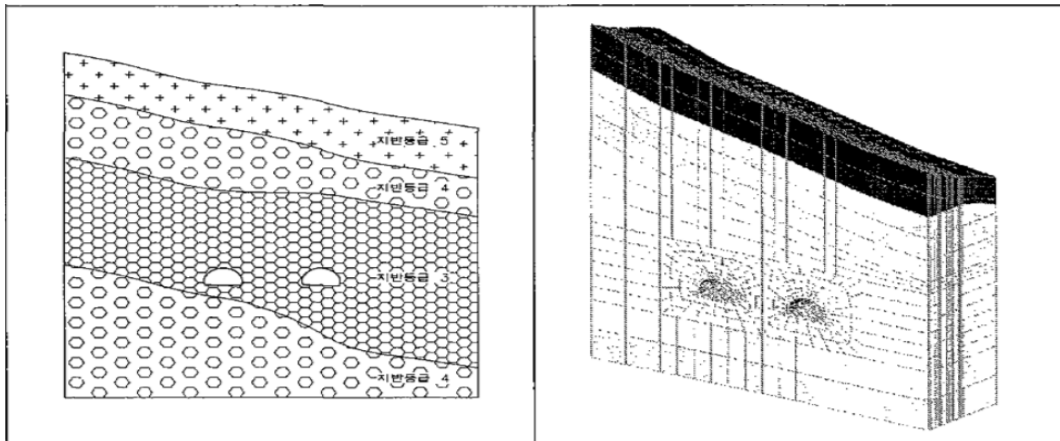
구분	압축강도 (kg/cm²)	단성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 숏크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.2E-1
강한 숏크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.2E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

▶ 지보타입 III 해석결과

▪ 해석위치의 특징

- TYPE-III 적용구간 중 상대적으로 지반조건이 취약하며, 지형적으로 계곡부에 위치함
- 터널통과부분은 지반등급 3, 상부는 4, 5등급, 하부는 4등급 지반으로 구성되어 있으며, 호온펠스 지역에 위치하고 있음
- 지반선까지 해석영역에 포함

▪ 해석단면(STA.0+980, 부산방향기준)



▪ 해석결과

검 토 항 목	3차원 해 석	2차원 연속체해석			퇴적암 고려한 해 석	2차원 불연속 체해석	키블럭 안정성 해 석	검토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	H/B (최대값)	D/P (최대값)	이방성 (최대값)	B/B (최대값)		
좌측천단 변위 (mm)	2.79	3.04	3.03	3.15	5.96	8.31	쇄 기 파 괴 가능성 없 음	안정
우측천단 변위 (mm)	2.64	2.76	2.75	2.86	5.14	2.16		안정
좌측내공 변위 (mm)	4.08	6.50	6.44	7.56	7.74	12.50		안정
우측내공 변위 (mm)	3.91	6.71	6.65	7.57	9.05	8.89		안정
휨압축응력 (kg/cm ²)	57.0	66.0	47.6	80.7	77.6	52.8		안정
록볼트축력 (ton)	2.22	1.27	1.26	3.99	1.99	8.20		안정

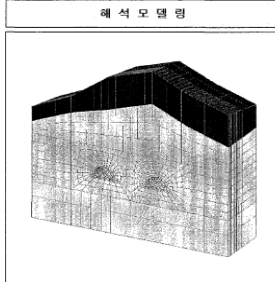
제3편 터널안전성 검토

5.1 3차원 해석

가. 해석개요

- 터널 시공에 따른 응력-변형률 관계를 해석적인 방법으로 실제 시공상황과 유사하기 모사하기 위하여 지반형상, 지반의 특성치 변화, 지보재 특성치 및 실제시공순서 등을 고려한 3차원 해석이 필수적임.
- TYPE-IV 적용구간중 STA.1+630(부산방향)에 대하여 막장 전면부의 종방향 하중점이 효과를 고려한 3차원 수치해석을 수행하여 지보패턴의 적정성을 평가함.
- 적용 프로그램 : PENTAGON-3D
- 해석모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용 지반등급 : 지반등급 3,4,5
- 굴착공법 : 상·하반 반단면굴착

해석 모델링



나. 해석조건

● 지보패턴

구분	구분		해석 단면
	굴착공법	상·하반 반단면굴착	
지보패턴	굴진장(상반/하반)	1.2/2.4	
	쉴크리트두께	16 cm	
	폭발트길이	L = 5.0m 통방향 1.2 횡방향 1.5	

● 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비	변형계수 (t/m³)
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000
5	2.0	10	33	0.30	60,000

- 732 -

제3편 터널안전성 검토

다. 해석결과 요약

● 검토 결과

- Mohr-Coulomb 모델 해석시 지보 TYPE-IV 구간에 대한 안정성 검토 결과 변위 및 지보재의 응력 측면에서 안정성을 확보하는 것으로 판단된다.

● 변위 검토

구분	좌측 터널		우측 터널		판정
	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	
K ₀ = 1.0	4.191	2.097	5.244	2.320	안정
K ₀ = 1.5	3.601	4.267	4.408	2.969	안정
K ₀ = 2.0	3.036	6.444	3.579	4.883	안정

● 지보재 검토

구분	좌측 터널		우측 터널		판정
	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	S/C 응력 (kg/cm²)	R/B 최대응력 (ton)	
K ₀ = 1.0	43.17	1.976	38.51	1.681	안정
K ₀ = 1.5	53.40	2.266	48.40	2.256	안정
K ₀ = 2.0	72.55	2.718	68.86	2.395	안정

● 허용응력 검토

- 허용침입응력
 $\sigma_{ca} = 0.4 \sigma_{sk} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kg/cm}^2$
- 허용천단응력
 $\tau_{ca} = 0.25 \sqrt{\sigma_{sk}} = 0.25 \times \sqrt{210} = 3.62 \text{ kg/cm}^2$
- 허용복합응력
 $P_{ca} = 0.5 \sigma_y A = 0.5 \times 3500 \times 4.91 = 8600 \text{ kg} = 8.6 \text{ t}$

- 738 -

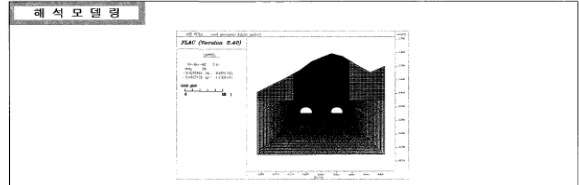
제3편 터널안전성 검토

5.2 2차원 연속재 해석(Mohr-Coulomb Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-IV 구간중 대표단면 STA 1+630에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용속입계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)

해석 모델링



나. 지반 및 지보재 특성치

● 지반특성치

구분	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비 (ν)	변형계수 (t/m³)	속입계수
지반등급 5	2.0	10	33	0.30	60,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 4	2.3	50	35	0.27	200,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 3	2.5	80	40	0.24	500,000	1.0 ~ 2.0

● 지보재 특성치

구분	압축강도 (kg/cm²)	탄성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 쉐크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.6E-1
강한 쉐크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.6E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

- 737 -

제3편 터널안전성 검토

5.3 2차원 연속재 해석 (Drucker - Prager Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-IV 구간중 대표단면 STA 1+630에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Drucker-Prager Model
- 적용속입계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)

나. 지반 및 지보재 특성치

● Drucker-Prager 강도정수 산정결과

구분	지반등급 3	지반등급 4	지반등급 5
q_p	0.315	0.273	0.256
k_p (t/m²)	75.57	40.94	7.68

- 본 해석에서는 Mohr-Colomb 모델의 강도정수인 C, φ 값을 이용하여 Drucker-Prager 모델의 강도정수인 q_p , k_p 값을 산정하였으며 산출식은 다음과 같다.

■ Drucker-Prager 강도정수

$$q_p = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3} (3 - \sin \phi)}$$

$$k_p = \frac{6c \sin \phi}{\sqrt{3} (3 - \sin \phi)}$$

● 지보재 특성치

구분	압축강도 (kg/cm²)	탄성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 쉐크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.6E-1
강한 쉐크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.6E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

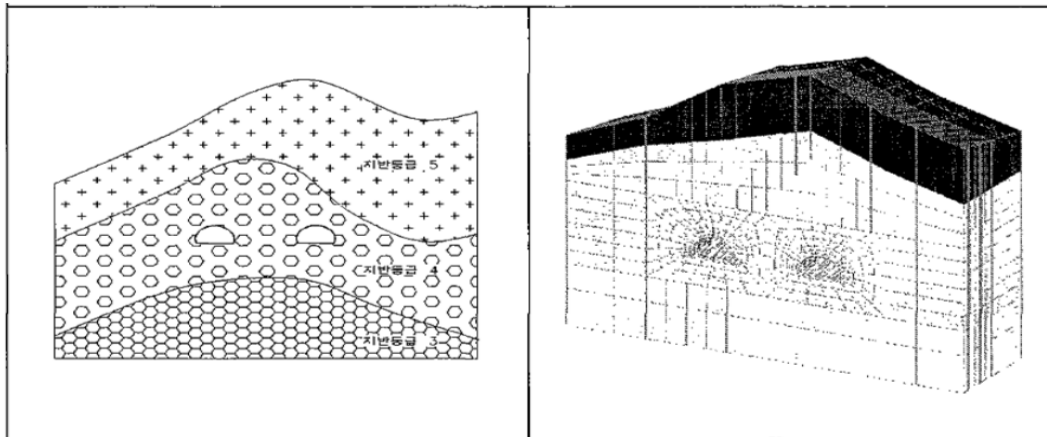
- 754 -

▶ 지보타입 IV 해석결과

▪ 해석위치의 특징

- TYPE-IV 적용구간 중 풍화대에 위치하여 지반조건이 열악함
- 터널통과부분은 지반등급 4, 상부는 5등급, 하부는 3등급 지반으로 구성되어 있으며, 퇴적암 지역에 위치하고 있음
- 지반선까지 해석영역에 포함

▪ 해석단면(STA.1+630, 부산방향기준)



▪ 해석결과

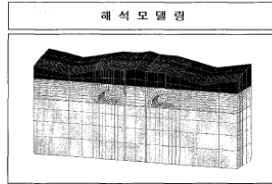
검 토 항 목	3차원 해 석	2차원 연속체해석				퇴적암 고려한 해 석	2차원 불연속 체해석	키블력 안정성 해 석	검토 결과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	D/P (최대값)	S/S (최대값)	이방성 (최대값)	B/B (최대값)			
좌측천단 변위(mm)	6.63	4.19	4.30	3.72	5.29	6.97		췌 기 파 괴 가능성 없 음	안정
우측천단 변위(mm)	7.01	5.24	5.45	4.55	9.23	5.04			안정
좌측내공 변위(mm)	10.03	6.44	7.38	4.27	11.37	8.73			안정
우측내공 변위(mm)	9.33	4.88	6.68	3.00	8.68	4.90			안정
휨압축응력 (kg/cm ²)	63.0	73.1	76.1	56.0	82.8	6.33			안정
록볼트축력 (ton)	5.3	2.78	5.51	2.18	4.58	6.08			안정

제3편 터널안전성 검토

6.1 3차원 해석

가. 해석개요

- TYPE-V 적용구간중 STA.0+440(울산방향)에 대하여 막장 전면부의 종방향 하중전이 효과를 고려한 3차원 수치해석을 수행하여 지보 패턴의 적정성을 평가함.
- 적용 프로그램 : PENTAGON-3D
- 해석모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용 지반등급 : 지반등급 2,3,4
- 굴착공법 : 상·하반 반단면굴착



나. 해석조건

● 지보패턴

구 분		해석 단면	
지 보 패 턴	굴착공법	상·하반 반단면굴착	
	굴진장 (상반/하반)	1.0/1.0	
	쏘크리트 두께	16 cm	
	폭발트 길이	L = 5.0m	
	중방향 1.0		
	침방향 1.2		

● 지반특성치

지반등급	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비	변형계수 (t/m³)
2	2.6	100	43	0.20	1,000,000
3	2.5	80	40	0.24	500,000
4	2.3	50	35	0.27	200,000

● 지보재 특성치

구 분	압축강도 (kg/cm²)	탄성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	단면적 (m²)
Soft Shotcrete	100	500,000	2.35	-
Hard Shotcrete	210	1,500,000	2.35	-
폭발트	-	21,000,000	7.85	-

- 809 -

제3편 터널안전성 검토

다. 해석결과 요약

● 검토 결과

- Mohr-Coulomb 모델 해석시 지보 TYPE-V 구간에 대한 안정성 검토 결과 범위 및 지보재의 용력 측면에서 안정성을 확보하는 것으로 판단된다.

● 변위 검토

구 분	좌 측 터널		우 측 터널		판 정
	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	천단변위 (mm)	내공변위 (mm)	
K ₀ = 1.0	3.216	1.864	2.594	1.187	안 정
K ₀ = 1.5	2.801	3.470	2.320	2.204	안 정
K ₀ = 2.0	2.389	5.075	2.046	3.232	안 정

● 지보재 검토

구 분	좌 측 터널		우 측 터널		판 정
	S/C 용력 (kg/cm²)	R/B 최대속력 (ton)	S/C 용력 (kg/cm²)	R/B 최대속력 (ton)	
K ₀ = 1.0	28.99	1.801	20.19	1.247	안 정
K ₀ = 1.5	31.93	2.357	22.65	1.406	안 정
K ₀ = 2.0	32.35	2.995	30.51	1.592	안 정

● 허용응력 검토

- 허용휨압축응력
 $\sigma_{ca} = 0.4 \sigma_{ck} = 0.4 \times 210 = 84 \text{ kg/cm}^2$
- 허용전단응력
 $\tau_a = 0.25 \sqrt{\sigma_{ca}} = 0.25 \times \sqrt{210} = 3.62 \text{ kg/cm}^2$
- 허용압박분축력
 $P_a = 0.5 \sigma_y A = 0.5 \times 3500 \times 4.91 = 8600 \text{ kg} = 8.6 \text{ t}$

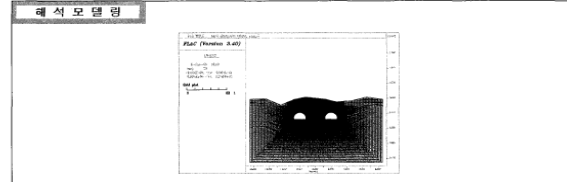
- 815 -

제3편 터널안전성 검토

6.2 2차원 연속체 해석(Mohr-Coulomb Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-V 구간중 대표단면 STA.0+440에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Mohr-Coulomb Model
- 적용축압계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)



나. 지반 및 지보재 특성치

● 지반특성치

구 분	단위중량 (t/m³)	점착력 (t/m²)	내부마찰각 (deg)	포아송비 (ν)	변형계수 (t/m³)	축압계수
지반등급 5	2.0	10	33	0.30	60,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 4	2.3	50	35	0.27	200,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 3	2.5	80	40	0.24	500,000	1.0 ~ 2.0
지반등급 2	2.6	100	43	0.2	1,000,000	1.0 ~ 2.0

● 지보재 특성치

구 분	압축강도 (kg/cm²)	탄성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 쏘크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.6E-1
강한 쏘크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.6E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

- 814 -

제3편 터널안전성 검토

6.3 2차원 연속체 해석(Drucker-Prager Model)

가. 해석개요

- 지보 TYPE-V 구간중 대표단면 STA.0+440에 대하여 지반 및 지보재의 안정성 검토
- 적용프로그램 : FLAC-2D Ver.3.40
- 적용모델 : Drucker-Prager Model
- 적용축압계수 : 1.0, 1.5, 2.0
- 하중분담율 : 50 - 25 - 25 (%)

나. 지반 및 지보재 특성치

● Drucker-Prager 강도정수 산정결과

구 분	지반등급 2	지반등급 3	지반등급 4	지반등급 5
q_ϕ	0.34	0.315	0.273	0.256
k_ϕ (t/m²)	101.92	75.57	40.94	7.68

- 본 해석에서는 Mohr-Colomb 모델의 강도정수인 C, φ 값을 이용하여 Drucker-Prager 모델의 강도정수인 q_ϕ , k_ϕ 값을 산정하였으며 산출식은 다음과 같다.

■ Drucker-Prager 강도정수

$$q_\phi = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3} (3 - \sin \phi)}$$

$$k_\phi = \frac{6c \sin \phi}{\sqrt{3} (3 - \sin \phi)}$$

● 지보재 특성치

구 분	압축강도 (kg/cm²)	탄성계수 (t/m²)	단위중량 (t/m³)	포아송비 (ν)	단면적 (m²)
연한 쏘크리트	100	500,000	2.4	0.2	1.6E-1
강한 쏘크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	1.6E-1
폭발트	3,500	21,000,000	7.85	-	4.9E-4

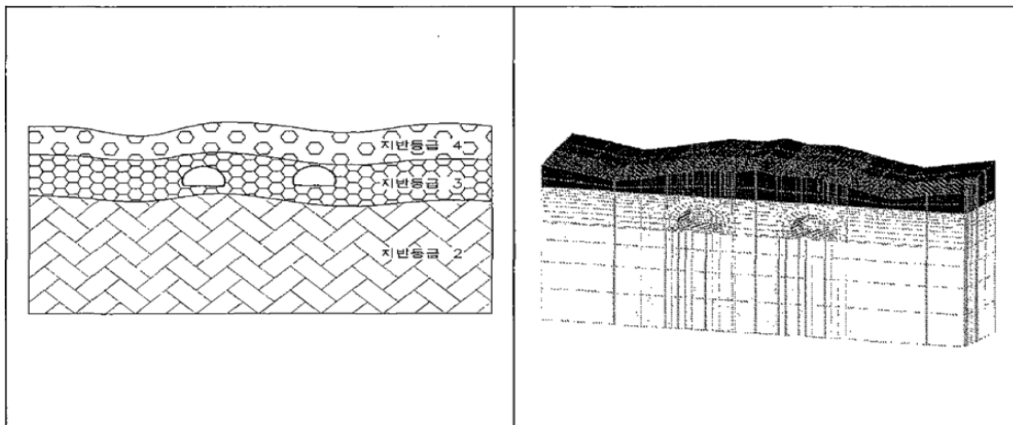
- 831 -

▶ 지보타입 V 해석결과

▪ 해석위치의 특징

- 최대토피 약 35m정도로 TYPE-V 구간 중 최소토피 지역임
- 터널통과부분은 지반등급 3, 상부는 4등급, 하부는 2등급 지반으로 구성되었으나, 갱구부근에 위치하고 저토피 구간임을 감안하여 지보 TYPE-V가 적용된 지역이며, 화강암 지역에 위치
- 지반선까지 해석영역에 포함

▪ 해석단면(STA.0+980, 부산방향기준)



▪ 해석결과

검 토 항 목	3차원 해석	2차원 연속체 해석			검 토 결 과
	M/C (최대값)	M/C (최대값)	D/P (최대값)	U/J (최대값)	
좌측천단 변위(mm)	0.97	3.22	3.19	3.25	안 정
우측천단 변위(mm)	0.97	2.59	2.45	2.72	안 정
좌측내공 변위(mm)	1.03	5.08	5.39	4.37	안 정
우측내공 변위(mm)	1.03	3.23	3.30	2.52	안 정
휨압축응력 (kg/cm ²)	23.9	34.0	37.9	51.8	안 정
록볼트축력 (ton)	0.84	3.00	3.05	5.90	안 정

다. 토질조사 검토

본 터널의 설계 당시 15개소에 대한 시추조사를 실시하였으며 지반조사보고서(부산~울산간 고속도로 민간투자 시설사업 지반조사보고서(제9공구 두현~굴화), 2008.12)를 검토한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 시추조사 현황

구분	내용	공번	위치(STA.)	좌표		표고(m)	심도(m)
				X	Y		
문수터널	수직시추	TB-1	0+393(부, 우 7.8)	225,875.278	222,085.820	89.421	34.1
		TB-2	0+400(울, 우 19.0)	225,891.127	222,123.051	87.889	31.0
		TB-3	0+418(부, 우 7.8)	225,896.943	222,077.243	92.888	39.0
		TB-4	0+425(울, 우 19.0)	225,905.787	222,117.065	91.848	35.0
		TB-5	1+060(울, 좌 15.0)	226,565.892	222,023.629	154.199	98.0
		TB-6	1+394(부, 좌 20.0)	226,893.080	221,998.765	173.526	113.8
		TB-7	1+764(부, 좌 19.5)	227,225.777	222,066.984	93.940	33.0
		TB-8	1+759(울, 좌 7.1)	227,227.935	222,109.256	101.554	42.0
		TB-9	1+789(부, 좌 19.5)	227,247.906	222,071.079	86.373	24.0
		TB-10	1+789(울, 좌 7.1)	227,251.534	222,117.425	87.630	27.5
		TB-11	0+860	226,329.134	222,031.412	204.998	152.0
	수평시추	HB-1	0+397(부, 좌 4.22)	222,104.940	225,848.640	84.959	40.0
		HB-2	0+383(울, 우 7.20)	222,128.480	225,875.670	94.259	40.0
		HB-3	1+824(부, 좌 6.52)	227,280.080	222,093.590	80.829	40.0
		HB-4	1+397(울, 좌 4.73)	227,251.520	222,118.090	79.269	40.0

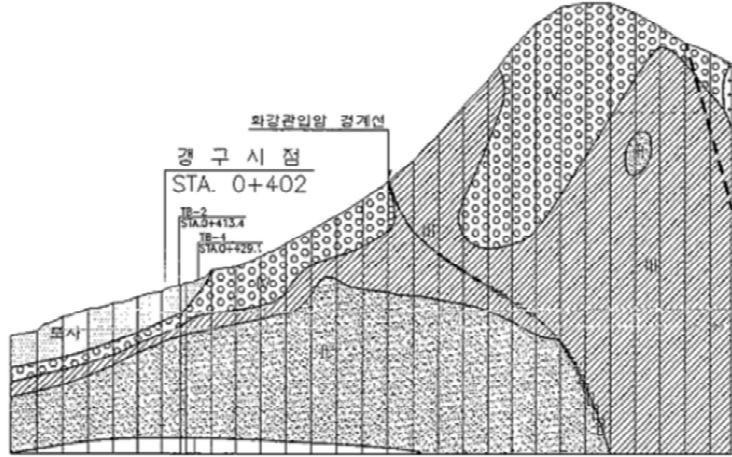
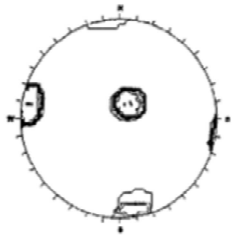
※ 시추위치 표기상에서 ()안의 내용은 부-부산방향, 울-울산방향 노선을 의미하고, 측량 측선을 기준으로 좌-이격거리, 우-이격거리를 의미함. 수평시추의 심도는 수평경사 시추 굴진 길이를 의미함.

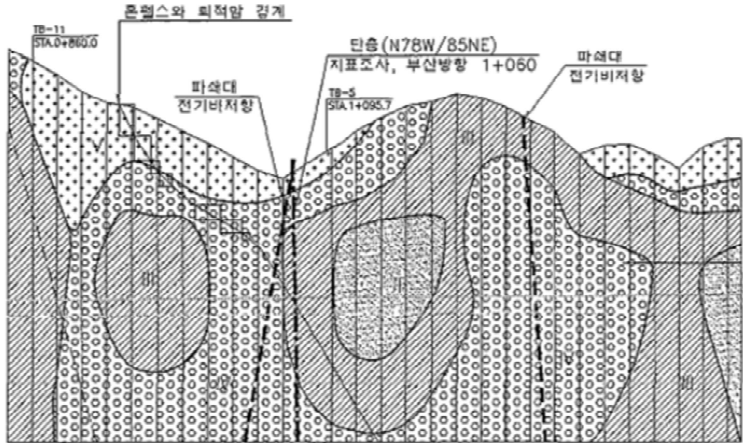
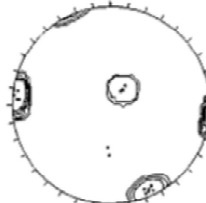
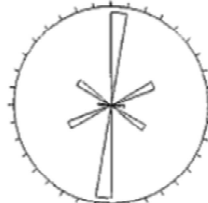
2) 시추조사 결과

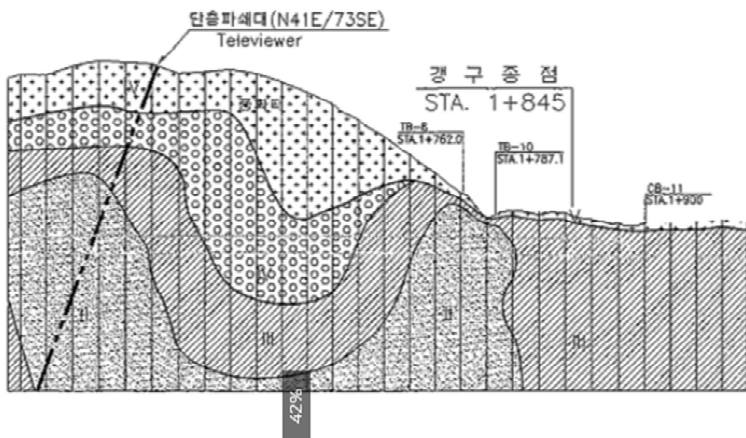
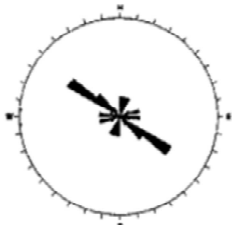
구분	공번	지층(층후, m)																	굴진 심도 (m)	지하 수위 (m)	
		층적 층	붕적 층	풍화 토	풍화 암	연암	보통 암	경암	연암	풍화 암	연암	보통 암	경암	연암	경암	보통 암	경암	보통 암			경암
수 직 시 추	TB-1	1.5		10.5	8.1		6.4	7.6											34.1	12.05	
	TB-2	4.5		10.5	8.0		2.1	5.9											31.0	10.38	
	TB-3	1.5		6.1	12.2	4.8	6.5	9.4											39.0	1233	
	TB-4	4.5		4.5				1.7		4.2		7.1	8.0						35.0	11.08	
	TB-5		3.0		3.0		3.0	21.5	4.0						8.5	7.0	29.4	2.6	16.0	98.0	9.04
	TB-6	4.1			1.7	2.0	2.0		2.9	3.2	3.1	6.6	61.1	3.4	2.9	6.2	14.6			113.8	42.97
	TB-7		1.5		2.2		15.8	13.5												33.0	18.06
	TB-8		3.0			3.0		36.0												42.0	25.49
	TB-9		1.5		4.0		11.0	7.5												24.0	10.58
	TB-10				1.5		3.0	23.0												27.5	11.84
	TB-11		1.2		6.8	6.0	3.0	135												152.0	15.38
수 평 시 추	HB-1			38.0		2.0														40.0	
	HB-2			37.0		3.0														40.0	
	HB-3			2.0		5.0		33.0												40.0	
	HB-4		3.0			21.0		16.0												40.0	

3) 터널구간별 지반특성

터널구간의 지반특성은 크게 3구간으로 분류한 것으로 확인되었으며, 시점부, 중앙부 및 종점부로 구분하였다.

구 분	시 점 부 (시점 갱구부) 시추공 : TB-1~4, HB-1~2(6공)	
암종 분포	• 중생대 백악기의 흑운모 화강암으로 중립-조립의 암상을 보임 • 화강암이 풍화를 많이 받아 핵석 형태로 존재하기도 함 • 화강암 관입으로 퇴적암이 호온펠스화되었고, 울산단층의 영향으로 균열 및 파쇄됨	
지 형	• 터널 시점부를 지나 약 200m 지점부터 화강암과 퇴적암의 경계로 급경사를 이룸 • 소규모의 능선과 계곡의 발달로 다소 복잡한 지형	
지층 분석		
탄성과 탐사	• 경암 경계인 속도 2,900 m/sec의 층 경계가 지표로부터 약 50m 심도까지 분포 • 0+290~0+520 구간은 저속도층이 터널구간까지 발달, 파쇄대가 터널구간을 관통 • 0+400~0+500 구간 천부 700 m/sec 이하의 저속도층이 약 10m 두께로 존재	
전기비저항 탐사 (터널심도)	• 전극 간격 20m : 조사 정밀도 향상 • 0+300~0+390 구간은 500Ωm 이하의 매우 낮은 비저항치를 보임 • 0+390 이후는 1000Ωm 이상의 비저항치를 보임 • 저비저항과 고비저항대의 경계면에 암상 변화 등에 의한 구조대가 발달할 것으로 추정	
불연속면 분포현황		
	• J1: N10E/83SE, J2: N84E/80NW, B: N50W/14SW, R: N16E/75NW	

구 분	중 앙 부 (본선 구간) 시추공 : TB-5, TB-6, TB-11(3공)	
암종 분포	• 화강암류에 의한 점촉변성작용의 결과로 호온펠스화, 풍화에 강하고 큰 전석으로 블록화된 노두가 많음 • 퇴적암인 사암, 이암 및 셰일의 호층상태로 분포	
지 형	• 전체적으로 계곡의 연장성이 좋고 완만한 경사를 이룸 • 능선과 계곡부에 노두의 빈번한 출현	
지층 분석		
탄성파 탐사	• 0+970 이후는 저속도층이 20m 내외의 두께로 분포하고, 심부에 고속도층이 분포함 • 0+840~1+120 구간 천부에 표토층과 파쇄구간이 발달함	
전기비저항 탐사 (터널기준)	• 전극 간격 40m : 터널심도의 신뢰성 있는 비저항치 산정 • 대부분 1000Ωm 이상의 높은 비저항치를 보임 • 여러 개의 구조적 연약대로 판단되는 지역은 낮은 비저항치를 보임 • 터널과 교차되는 구조대 예상구간: 0+845, 0+930, 1+060, 1+230, 1+340	
불연속면 분포현황		
	• J1: N15E/85SE, J2: N75E/85NW, B: N50W/16SW, R: N80W/45NE • Fault: N78W/85NE(지표지질조사)	

구 분	중 점 부 (중점 갱구부) 시추공 : TB-7~10, HB-3~4(6공)	
암종 분포	• 퇴적암인 사암, 이암 및 셰일의 호층상대로 분포	
지 형	• 터널 중점부로 갈수록 경사가 급해지며 작은 계곡과 능선이 반복됨 • 터널 출구부를 지나 굴안못이 위치함	
지층 분석		
탄성과 탐사	• 1+740 이후는 저속도층이 10m 이내의 두께로 천부에만 분포함 • 1+610에 분포한 파쇄대가 1+670에서 터널 영향권까지 발달 • 1+800 이후는 천부의 저속도층이 터널구간에 위치함	
전기비저항 탐사 (터널기준)	• 전극 간격 20m : 조사 정밀도 향상 • 중점 갱구부 주변은 1000Ωm 이상의 비저항치를 보임 • 1+810 이후는 파쇄대가 폭넓게 분포할 것으로 추정	
불연속면 분포현황		
	• J1: N83E/85SE, J2: N6E/66NW, B: N42W/15SW • Fault: N41E/73SE(Televiewer)	

제1편 서론

제3장. 지반특성치 산정

1. 개요

- 기존관행의 문제점을 분석한 후 개선방향 제시
- 과업구간 현황파악을 통한 적정 지반등급 구분
- 설계적용 지반등급별 특성치 결정
- 연속체 해석시 방법의 구성모델을 고려하여 산정

1.1 개선방향

- 기초설계 사례**
- 설계전반에 적용된 지반분류 방법과 관계없이 경암, 연암 등 정성적 분류에 의하여 지반을 분류하고 특성치 결정
 - 구간별 지반등급에 관계없이 지반을 수직적 층별로만 구분하여 특성치를 적용
 - 즉, 토파가 어느정도 이상이면 하부지반은 기반암(주로 경암)의 특성치만 적용하고 지반등급의 변화를 고려하지 않음
- 문 제 점**
- 지반은 수직적 층상변화 뿐 아니라 수평적으로도 구간에 따라 지반등급 및 지반 특성치가 달라질 수 있으므로 지반의 수직적 변화와 수평적 변화를 고려한 지반 특성치 선정이 필요함
 - 설계 전 분야에 동일한 지반분류를 통한 일관성 확보 불가
- 개선방향**
- 암종별 공학적 특성을 비교하여 검토한 후 특성치 선정방향 결정
 - 암종의 변화를 고려하여 지반등급 구분
 - 지반등급별로 각기 다른 특성치를 산정
 - 구간별, 깊이별로 지반등급에 맞는 특성치 적용

1.2 지반특성치 선정방법

- 지반분류방법과 동일한 지반등급(5등급)에 따라 지반특성치 산정 (지반등급 6은 토사층으로 분류)
- 지반특성치를 산정할 수 있는 다양한 연구결과가 발표되었으며, 이 중에서 지반등급별 구분에 적용가능한 방법과 현장, 실내시험값을 분석하고 기존용역사례 등과 비교 검토하여 적용함

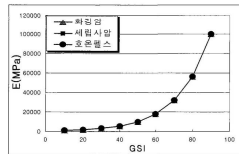
- 39 -

제1편 서론

나. Hoek & Brown 식을 이용한 비교

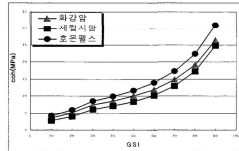
- Hoek & Brown의 파괴기준을 이용하여 탄성계수, 점착력 및 내부마찰각을 암종별로 비교, 검토
- 분석결과 화강암, 호른펠스, 세립사암의 공학적 특성은 지반등급별로 동일한 범위안에 있음

● 탄성계수



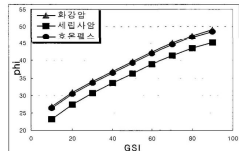
- 암종별 탄성계수 비교 결과
화강암 : 1000~100000(MPa)
호른펠스 : 1000~100000(MPa)
세립사암 : 1000~100000(MPa)
로 지반등급별로 같은 범위를 가지는데 이는 $\sigma > 100\text{kg/cm}^2$ 이상일때는 탄성계수 구하는 식이 같기 때문임

● 점착력



- 암종별 점착력 비교 결과
화강암 : 3.6 ~ 26(MPa)
호른펠스 : 4.1 ~ 30(MPa)
세립사암 : 2.8 ~ 25(MPa)
의 범위를 나타내며 GSI>90 이상일때 $\pm 4\text{Mpa}$ 의 차이를 보이나 지반등급별로 거의 같은 range안에 밀집되어 있음

● 내부마찰각



- 암종별로 내부마찰각을 비교한 결과
화강암 : 26° ~ 49°
호른펠스 : 26° ~ 48°
세립사암 : 23° ~ 45°
의 범위를 나타내며 $\pm 3^\circ$ 의 차이를 보이고 있으나 지반등급별로 거의 같은 range안에 밀집되어 있음

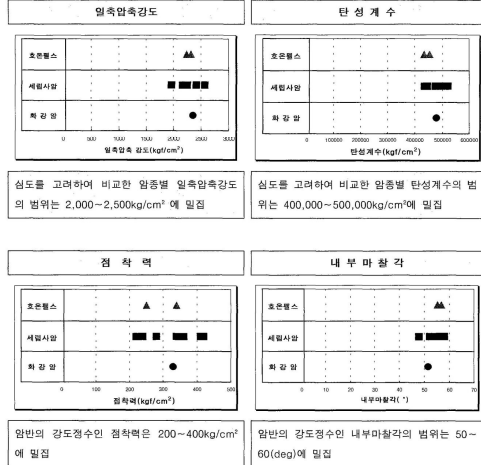
- 42 -

제1편 서론

1.4 터널구간 암종별 공학적 특성비교

- 지반특성치를 산정하기 전에 실내시험 결과와 암종별로 분석하여 공학적 특성을 비교, 분석함
- 분석결과 본 문수터널구간의 화강암, 호른펠스 및 세립사암의 공학적 특성은 지반등급별로 동일한 범위안에 있음
- 분석결과를 바탕으로 암종별 공학적특성은 동일한 것으로 간주하여 지반특성치를 산정하였으며 수치해석시는 암종별 역학적 특성을 고려, 지반조건별로 적합한 구성모델을 이용하여 해석을 수행함

가. 실내 암석시험의 비교



- 41 -

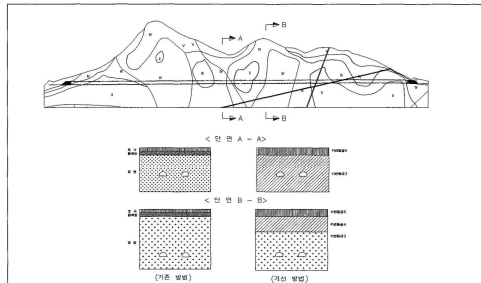
제1편 서론

2. 지반특성치 산정

2.1 해석프로그램별 소요 지반특성치

구분	프로그램	소요 지반 특성치						
		단위중량	마찰각	점착력	변형계수	프와송비	축입계수	절리면특성
연속체 해석	PEN-3D	○	○	○	○	○	○	
	FLAC	○	○	○	○	○	○	
	3-DEC	○	○	○	○	○	○	○
지반재해 해석	UDEC	○	○	○	○	○	○	○
	TALREN	○	○					
	SEEP/W	○						
구조 해석	KeyBlock							○
	UNWEDGE	○						
구조 해석	MIDAS	○			○		○	

2.2 설계적용 지반등급 구분 예



- 43 -

제1편 서론

2.3 변형계수

2.3.1 토사층 (지반등급-6)

가. SPT 시험결과를 이용한 방법

Schmertmann			Hisatake		도로교 표준치명서	
$E_s = \alpha N$ (kg/cm ²)			$E_s = 5N + 70$ (kg/cm ²)		$E_s = 28N$ (kg/cm ²)	
공번	STA.	평균N값	E_u (t/m ²)		비 고	
			Schmertmann	Hisatake		도로교시방서
TB-1	0+408	41	4,100	2,750	11,480	매우조밀
TB-2	0+413	44	4,400	2,900	12,320	매우조밀
TB-3	0+431	44	4,400	2,900	12,320	매우조밀
TB-4	0+429	40	4,000	2,700	11,200	매우조밀
TB-5	1+103	20	1,400	1,700	5,600	보통조밀
TB-6	1+428	46	4,600	3,000	12,880	매우조밀
TB-7	1+785	20	1,400	1,700	5,600	보통조밀
TB-8	1+762	39	3,900	2,650	10,920	매우조밀
TB-9	1+787	20	1,400	1,700	5,600	보통조밀
대 표 값			1,400~12,320 (평균 : 5,166)			

나. 흙의 종류에 따른 변형계수

흙의 종류	변형계수 (t/m ²)	적 용	흙의 종류	변형계수 (t/m ²)	적 용
느슨한 모래	1,000~2,000		모래 및 자갈	6,900~17,200	
중간 모래	1,700~2,800		연약점토	200~500	
굵직한 모래	3,500~5,500	○	중간경도점토	500~1,000	
실트질 모래	1,000~1,700		견고한 모래	1,000~2,400	

*) 구조물기초설계기준, 1997

다. 최근 터널에서 적용사례(1999~2000년)

구 분	일고개터널	경춘선4공구	경춘선6공구	경춘선7공구	수원터	능동터널
(t/m ²)	3,000	3,000	7,000	4,000	3,000	5,000

라. 적용변형계수(t/m²)

• 경험식, 문헌조사 및 기존적용사례 등을 이용하여 검토한 결과 지반등급6에서 적용가능한 변형계수의 범위는 3,000~12,320t/m²이나 실제시험결과인 SPT결과를 준용하여 5,000 t/m²을 적용

- 44 -

제1편 서론

2.3.2 암반층

• 암반의 변형특성(Deformability)은 파괴에 이를 가능성이 없는 지역이라도 극부적인 암반변형이 구조물에 미치는 응력을 크게 변화시킬 수 있으므로 다른 특성치에 비하여 공학적으로 상당히 중요하다

가. 실내시험에 의한 변형계수 보정

1) 실내암석시험 결과분석

• Intact Rock에 대한 실내암석시험 분석결과 지반등급별 변형계수의 범위는 다음과 같음
지반등급 2 : 33.9~52.1×10⁶ t/m² (평균 : 44.5×10⁶ t/m²)
지반등급 3 : 27.4~49.0×10⁶ t/m² (평균 : 40.2×10⁶ t/m²)
지반등급 4 : 0.80~10⁶ t/m² (평균 : 0.8×10⁶ t/m²)

• 실내암석시험 결과

공 번	심 도 (m)	암 반	변형계수 (×10 ⁶ t/m ²)	RMR	Q	RQD	지반등급
TB-1	18.0~19.0	중회암	0.80	32	0.66	40	4
	22.5~23.5	보통암	48.7	48	1.00	61	3
TB-2	25.3~26.3	경 암	47.7	67	24.0	97	2
TB-3	23.1~24.7	보통암	31.0	43	1.10	67	3
TB-4	14.4~15.7	경 암	47.1	69	32.3	98	2
	20.0~21.4	경 암	44.5	65	23.0	87	2
TB-5	67.9~69.9	경 암	34.0	60	9.73	79	3
	77.5~78.9	경 암	43.5	55	4.57	74	3
TB-6	80.7~82.3	경 암	47.5	59	1.36	74	3
	94.0~95.4	보통암	45.1	58	2.43	66	3
TB-7	12.7~14.4	보통암	33.6	59	6.94	63	3
	26.5~27.7	경 암	49.0	60	2.99	82	3
TB-8	17.0~19.1	경 암	52.1	73	5.03	91	2
	27.0~28.5	경 암	51.7	78	33.0	100	2
TB-9	11.5~13.0	보통암	27.4	47	0.54	66	3
	16.2~17.9	경 암	41.9	60	4.77	87	3
TB-10	6.2~7.6	경 암	33.9	69	4.98	90	2
	11.0~12.4	경 암	35.1	70	8.25	100	2
TB-11	130.6~131.9	경 암	45.3	65	33.0	90	2
	135.7~136.9	경 암	43.3	61	16.0	87	2

- 45 -

제1편 서론

2) RMR에 의한 무결암 변형계수 보정

① Nicholson & Bieniawski (1990)

$$RF = E_u/E_L$$

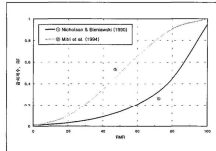
$$= 0.0028RMR^2 + 0.9 \exp(RMR/22.82) (\%)$$

② Mitri et al (1994)

$$RF = E_u/E_L = 0.5 \times [1 - \{\cos(\pi \times RMR/100)\}]$$

$$E_u = RF \times E_L$$

E_u : 변형계수 보정치
 E_L : 실내시험에 의한 무결암 변형계수



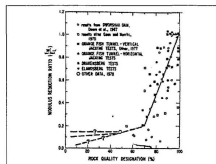
● RMR에 의한 무결암 변형계수 보정결과

지반등급	평균 RMR	E _L (10 ⁶ t/m ²)	RF		Eu (10 ⁶ t/m ²)	
			Nicholson	Mitri et al	Nicholson	Mitri et al
2	69	44.5	0.32	0.78	14.2	34.7
3	55	40.2	0.18	0.58	7.23	23.3
4	32	0.8	0.07	0.23	0.06	0.18

3) RQD도표에 의한 변형계수 보정

• 실내시험 결과 측정된 암석의 탄성계수를 Deere의 RQD에 따른 보정계수를 적용하여 원지반의 암반변형계수를 산출
• RQD가 60이하인 부분에 대해서는 분석 Data가 적은 관계로 적용시 주의를 요해야 하므로 참고자료로만 활용

$$E_u = f \times E_L$$



● RQD 도표에 의한 변형계수 보정결과

지반등급	평균 RQD	E _L (10 ⁶ t/m ²)	보정계수 (f)	E _u (10 ⁶ t/m ²)
2	93	44.5	0.95	42.3
3	72	40.2	0.21	8.44
4	40	0.8	0.11	0.09

*) RQD가 60이하인 부분에 대해서는 참고자료로만 활용함

- 46 -

제1편 서론

나. 암반분류에 의한 변형계수 추정

RMR에 의한 변형계수 추정	Q에 의한 변형계수 추정
• Bieniawski (1978) $E_u = 2 \times RMR - 100$ (10⁶ t/m²), RMR > 50 • Serafim & Pereira (1983) $E_u = 10^{RMR/100-10}$ (10⁶ t/m²), RMR ≤ 50 • 김교원 (1993) $E_u = 300 \exp(0.07RMR)$ (10⁶ t/m²) (김교원의 RMR'는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외한 값) • Aydan (1997) $E_u = 0.0097RMR^{1.56}$ (10⁶ t/m²)	• Barton(1995) : Q값에 의한 변형계수 추정 $E_u = 25 \log Q$ (10⁶ t/m²) : Q > 1.0 $E_u = 10 \times Q^{0.9}$ (10⁶ t/m²) : Q ≤ 1.0

● RMR에 의한 변형계수 산정결과

지반등급	평균 RMR	김교원의 평균 RMR'	Eu (10 ⁶ t/m ²)		
			Bieniawski 등	김교원	Aydan
1	83	76	66.0	61.3	60.3
2	69	56	38.0	15.1	31.3
3	55	42	10.0	5.67	14.0
4	32	27	3.55	1.98	2.06
5	20	15	1.78	1.21	0.39

● Q값에 의한 변형계수 산정결과

지반등급	평균 Q	E _u (10 ⁶ t/m ²)
1	74.49	46.80
2	19.95	32.49
3	3.54	13.72
4	0.66	8.70
5	0.01	2.15

- 47 -

제1편 서론

다. 공내제하시험 결과분석

- 공내제하시험 분석결과 지반등급별 변형계수의 범위는 다음과 같음
- 지반등급 1 : 8.68 (10⁶ t/m²)
- 지반등급 2 : 3.24~9.23 (10⁶ t/m²)
- 지반등급 3 : 2.46~10.1 (10⁶ t/m²)

● 공내제하시험 결과

시추공 번호	지반등급	E _w (10 ⁶ t/m ²)	시추공 번호	지반등급	E _w (10 ⁶ t/m ²)
TB-3	3	2.46	TB-7	3	6.24
	3	4.22		3	9.41
TB-4	2	9.23	TB-8	2	6.71
	2	3.24		1	8.68
TB-5	2	8.66	TB-11	3	8.87
	3	6.28		2	5.51
TB-6	3	10.1	-		
	3	6.20			

라. 최근 터널매식 적용사례(1999~2000년)

[단위 : 10⁶ t/m²]

- 능동터널을 제외한 기존터널은 정상적으로 지반을 분류하였으나 편의상 아래와 같이 구분하여 적용범위를 비교함

구 분	말고개	경춘선4공구	경춘선6공구	경춘선7공구	수안리	능동터널
지반등급1	-	35.0	-	20.0	20.0	30.0
지반등급2	9.2	15.0	3.0	5.0	5.0	20.0
지반등급3	5.0	5.0	2.0	-	3.0	10.0
지반등급4	2.0	3.0	0.8	1.0	1.0	5.0
지반등급5	0.5	0.7	0.2	0.5	0.4	0.5

- 48 -

제1편 서론

마. 변형계수 산정결과분석

[단위 : 10⁶ t/m²]

지반 등급	실내시험 보정식			RMR 분류에 의한 방법			Q분류	공내 시험
	Nicholsen	Mitri et al	ROD	Bieniawski	김교영	Aydan	Q	
1	-	-	-	66.0	61.3	60.3	46.8	8.68
2	14.2	34.7	42.3	38.0	15.1	31.3	32.5	3.24~11.0
3	7.23	23.3	8.44	10.0	5.67	14.0	13.7	2.46~11.6
4	0.06	0.18	0.09	3.55	1.98	2.06	8.70	-
5	-	-	-	1.78	1.21	0.39	2.15	-

바. 적용 변형계수

- 실내시험에 의한 방법, 일반분류에 의한 방법, 공내제하시험 및 기존 터널매식 적용사례 등을 분석한 결과 지반등급별로 적용가능한 변형계수의 범위는 아래와 같음
- 지반등급 1 : 8.68~66.0×10⁶ t/m² (평균 : 48.6×10⁶ t/m²)
- 지반등급 2 : 3.24~42.3×10⁶ t/m² (평균 : 24.7×10⁶ t/m²)
- 지반등급 3 : 2.46~23.3×10⁶ t/m² (평균 : 10.7×10⁶ t/m²)
- 지반등급 4 : 0.06~3.55×10⁶ t/m² (평균 : 2.37×10⁶ t/m²)
- 지반등급 5 : 0.39~2.15×10⁶ t/m² (평균 : 1.38×10⁶ t/m²)

- 각종 경철사를 적용하는데는 신중한 판단이 필요

- 실내시험 및 현장시험시 발생할 수 있는 오차 등을 감안

- 변형계수는 적용범위 평균치의 50%를 다소 하향조정하여 결정

● 지반등급별 적용 변형계수

구 분	지반등급 1	지반등급 2	지반등급 3	지반등급 4	지반등급 5
변형계수 (10 ⁶ t/m ²)	20.0	10.0	5.0	2.0	0.6

- 49 -

제1편 서론

2.4 강도정수의 산정

2.4.1 토사층 (지반등급-6)

가. 실내시험 성과분석

- 터널부 토사층에 대한 직접전단시험을 실시하지 않아 인근 절토부에서 실시한 결과를 활용

구 분	점착력 (t/m ²)	내부마찰각 (°)
CB-5	1.21	35.2
CD 6	1.05	31.1
CB-9	2.02	31.5

나. 관련문헌 분석

종 류	재료의 상태	C(t/m ²)	φ (deg)	분류기호
자 자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것	0	40	GW,GP
	밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것	0	35	
자 갈 석 인 모 래	밀실한 것	0	40	GW,GP
	밀실하지 않은 것	0	35	
지 모 래	밀실한 것	0	35	SW,SP
	밀실하지 않은 것	0	30	
반 사 질 토	밀실한 것	3이하	30	SM,SC
	밀실하지 않은 것	0	25	

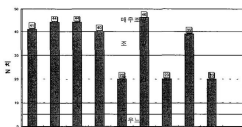
(주) 도보실거실무연활, 토질및기초, 토공재료의 개략적인 지반정수

다. 최근 터널매식 적용사례(1999~2000년) 분석

구 분	말고개터널	경춘선4공구	경춘선6공구	경춘선7공구	수안리	능동터널
	SM	SM	SM,SC	SM,SC	SM,SC	SM,SC
C(t/m ²)	1.5	3.0	1.7	1.5	1.5	0.5
φ(deg)	30	30	30	30	30	30

라. 적 용

- 무거터널 구간에 토사층은 N-20~46형 도로 중간조일~매우조일한 정도임
- 실내시험, 문헌조사 및 적용사례 등을 분석해 볼 때 C=0~3.0(t/m²), φ=30°~35.2°의 적용범위를 가짐.
- 터널의 안정성을 극대화하기 위하여 C=0.5(t/m²), φ=30°를 적용



- 50 -

제1편 서론

2.4.2 암반층

가. 실내시험 성과분석

- Intact Rock에 대한 실내압축시험 분석결과 지반등급별 강도정수의 범위는 다음과 같음
- 지반등급 2 : 점착력 2,200~3,600 t/m², 내부마찰각 51.5°~58.0°
- 지반등급 3 : 점착력 1,600~4,200 t/m², 내부마찰각 38.9°~59.9°
- 지반등급 4 : 점착력 200 t/m², 내부마찰각 51.1°

● 실내압축시험 결과

공 번	심 도 (m)	암 반	심속압축시험		지반등급
			점착력 (t/m ²)	내부마찰각 (°)	
TB-1	18.0~19.0	중회암	200	51.1	4
	22.5~23.5	보통암	2,000	59.9	3
TB-2	25.3~26.3	경 암	3,300	51.5	2
TB-3	23.1~24.7	보통암	1,700	62.2	3
TB-4	14.4~15.7	경 암	3,100	56.1	2
	20.0~21.4	경 암	2,800	58.0	2
TB-5	67.9~69.9	경 암	1,600	53.1	3
	77.5~78.9	경 암	2,400	47.7	3
TB-6	80.7~82.3	경 암	4,100	38.9	3
	94.0~95.4	보통암	3,100	48.3	3
TB-7	12.7~14.4	보통암	3,700	43.3	3
	26.5~27.7	경 암	4,200	52.3	3
TB-8	17.0~19.1	경 암	3,400	55.2	2
	27.0~28.5	경 암	3,600	57.0	2
TB-9	11.5~13.0	보통암	1,800	53.0	3
	16.2~17.9	경 암	2,500	51.8	3
TB-10	6.2~7.6	경 암	2,200	52.0	2
	11.0~12.4	경 암	2,400	52.1	2
TB-11	130.6~131.9	경 암	2,500	55.1	2
	135.7~136.9	경 암	3,400	56.8	2

- 51 -

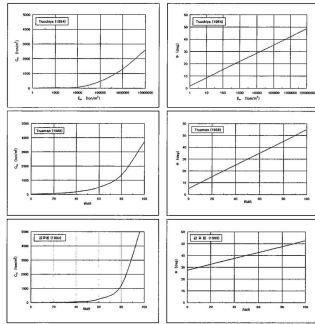
제1편 서론

나. 강도정수 추정식에 의한 방법

• Tsuchiya (1984)
 $C_{01} = -1.93Y + 2.07^2 + 0.035Y^2$
 $\phi_{01} = 23.6 + 2.347Y$
 여기서,
 $Y = (\log E (\text{kg/cm}^2) - 2.25) / 0.35$

• Trueman (1988)
 $C_{01} = 0.25 \exp(0.05 \cdot \text{RMR})$
 $\phi_{01} = 0.5 \cdot \text{RMR} + 5$

• 김교원 (1993)
 $C_{01} = 2.0 \exp(0.08 \cdot \text{RMR})$
 $\phi_{01} = 0.25(\text{RMR}) + 27.5$



● Tsuchiya의 추정식에 의한 강도정수 산출결과

지반등급	E (kg/cm ²)	Y	C (×10, t/m ²)	φ (deg)
1	200,000	8.71	163.5	44.1
2	100,000	7.85	129.3	42.0
3	50,000	6.99	99.60	40.0
4	20,000	5.86	66.81	37.3
5	6,000	4.36	33.83	33.8

● RMR에 의한 강도정수 산출결과

지반등급	RMR	김교원의 RMR'		C (10, t/m ²)		φ (deg)	
		RMR'		Trueman	김교원	Trueman	김교원
1	83	76	158.5	87.4	46.5	46.5	46.5
2	69	56	78.7	39.2	39.5	41.5	41.5
3	55	42	39.1	6.2	32.5	38.0	38.0
4	32	27	12.3	1.7	21.0	34.2	34.2
5	20	15	6.7	0.7	15.0	31.2	31.2

- 52 -

제1편 서론

다. Hoek & Brown에 의한 방법

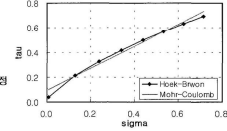
• 무결암 상태의 Hoek-Brown 파괴기준에 의하여 Mohr-Coulomb의 C, φ를 역귀분석
 • 암반층의 강도정수 추정 및 2차원해석시 Hoek-Brown의 파괴기준에 적용

① 무결암 상태의 Hoek-Brown 파괴기준

$$\sigma_1' = \sigma_3 + (m \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + 1)^{1/2}$$

$$y = m \sigma_3 / x + 1$$

여기서, $x = \sigma_3$, $y = (\sigma_1' - \sigma_3)^2$

② 산속암속시험결과에서 일축압축강도 σ_{ci} 의 추정

$$\sigma_{ci} = \frac{\sum y}{n} - \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y / n)}{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n} \right] \frac{\sum x}{n}$$

$$\sigma_{ci} = \sqrt{\frac{\sum y}{n} - \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y / n)}{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n} \right] \frac{\sum x}{n}}$$

여기서, n=공압을 달리한 실험횟수

③ m_i (Hoek-Brown Constant), r^2 (Coefficient of Determination)

$$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}} \left[\frac{\sum xy - (\sum x \sum y / n)}{\sum x^2 - (\sum x)^2 / n} \right] \frac{\sum x}{n}$$

$$r^2 = \frac{[\sum xy - (\sum x \sum y / n)]^2}{[\sum x^2 - (\sum x)^2 / n][\sum y^2 - (\sum y)^2 / n]}$$

④ 암반분류에 적용한 GSI

$$\text{GSI} = \text{RMR}_{90} - 5 \quad \text{RMR}_{90} > 23$$

$$\text{GSI} = 9 \ln(Q_0) + 44 \quad \text{RMR}_{90} < 23 \text{ (Hoek, Kaiser etc, 1995 p95)}$$

여기서, RMR_{90} : 1989년 RMR Version을 사용

$$Q_0 : Q_0 = \text{ROD}/J_r \times J_w/J_s$$

⑤ 변형응력 σ_3 , 전단응력 τ

$$m_3 = m_1 \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{28}\right)$$

- GSI > 25 일 때

$$S = \exp\left(\frac{\text{GSI} - 100}{9}\right)$$

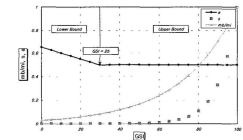
$$a = 0.5$$

$$\frac{\partial \sigma_3}{\partial \sigma_1} = 1 + \frac{m_3 \times \sigma_{ci}}{2(\sigma_1 - \sigma_3)}$$

- GSI < 25 일 때

$$S = 0$$

$$a = 0.65 - \text{GSI}/200$$



- 53 -

제1편 서론

$$\frac{\partial \sigma_3}{\partial \sigma_1} = 1 + a(m_3) \left(\frac{\sigma_3}{\sigma_{ci}} \right)^{a-1}$$

⑥ σ_3 의 범위: $0 < \sigma_3 < 0.25 \sigma_{ci}$

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} \left[\frac{m_3 \times \sigma_{ci}}{\sigma_{ci}} + a \right]^2$$

$$\sigma_{ci} = \sigma_3 + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{(1 + \partial \sigma_3 / \partial \sigma_1)}$$

$$\tau = (\sigma_1 - \sigma_3) / (2 \partial \sigma_3 / \partial \sigma_1)$$

⑦ C, φ

$$K = \frac{\sum \sigma_3 \sigma_1 - \sum \sigma_3 \sum \sigma_1 / T}{(\sum \sigma_3)^2 - \sum (\sigma_3)^2 / T} \quad (T \text{는 측압횟수})$$

$$\sigma_{cm} = \frac{\sum \sigma_3}{8} - \frac{K \sum \sigma_1}{8}$$

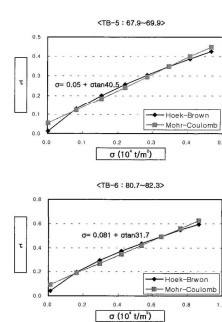
$$C = \sin^{-1} \left(K - 1 / K + 1 \right)$$

$$\phi = \frac{\sigma_{cm} (1 - \sin \phi)}{2 \cos \phi}$$

⑧ E (변형계수, MPa)

$$E_M = 10^{(GSI - 100)/40} \times \sqrt{\frac{\sigma_{ci} (\text{MPa})}{100}}$$

■ 조사지역의 대표적인 예 (C, φ)



● Hoek-Brown에 의한 강도정수 산출결과

구분	σ_{ci} (10 ³ , t/m ²)	m_i	GSI	C (10 ³ , t/m ²)	φ (deg)	E (10 ³ , t/m ²)
TB-5	67.8~69.9	91.2	23.65	55(III)	5.11	40.5
	77.5~78.9	124.8	14.27	50(III)	5.73	34.6
TB-6	80.7~82.3	192.1	9.27	54(III)	8.81	31.7
	94.0~95.4	170.8	13.96	53(III)	8.28	35.2
TB-7	12.7~14.4	188.0	10.21	54(III)	8.78	32.6
	26.5~27.7	257.6	17.03	55(III)	13.52	37.6
TB-8	17.0~19.1	221.3	22.76	68(II)	16.08	43.5
	27.0~28.5	236.0	26.26	66(II)	16.73	44.4
TB-9	11.5~13.0	107.4	24.27	42(III)	4.87	37.1
	16.2~17.9	148.6	18.28	55(III)	7.91	38.2
TB-10	6.2~7.6	128.9	18.96	64(II)	8.34	40.8
	11.0~12.4	136.0	20.23	65(II)	9.08	41.7

- 54 -

제1편 서론

라. 최근 터널해석 적용사례(1999~2000년) 분석

지반 등급	말고개터널	경춘선4공구	경춘선6공구	경춘선7공구	수원리	능동터널
1	C(t/m ²) φ(deg)	150 45	— —	— —	— —	500 50
2	C(t/m ²) φ(deg)	200 45	100 42	300 45	100 45	300 45
3	C(t/m ²) φ(deg)	50~100 40	80 38	200 29	— —	200 40
4	C(t/m ²) φ(deg)	30 35	50 35	100 33	30 35	100 35
5	C(t/m ²) φ(deg)	5.0 33	8.0 35	22 30	5.0 33	30 33

마. 강도정수 산출결과

지반등급	Tsuchiya	Trueman	김교원	Hoek-Brown	암석시험	적용범위
1	C(t/m ²) φ(deg)	1635 44.1	1585 46.5	874 46.5	— —	874~1635 (평균:1354) 44.1~46.5 (평균:45.7)
2	C(t/m ²) φ(deg)	1293 42.0	787 39.5	392 41.5	834~1673 40.8~44.4	1600~3700 (평균:1455) 99.5~58.0 (평균:44.2)
3	C(t/m ²) φ(deg)	996 40.0	391 32.5	62 38.0	487~881 31.7~40.5	1700~4200 (평균:1245) 31.7~62.2 (평균:40.54)
4	C(t/m ²) φ(deg)	668.1 37.3	123 21.0	17 34.2	— —	17~668.1 (평균:252) 21~51.1 (평균:35.9)
5	C(t/m ²) φ(deg)	338.3 33.8	67 15.0	7 31.2	— —	7~338.3 (평균:137.4) 16~33.8 (평균:26.6)

바. 적용 강도정수

• 실제 암반파괴의 주원인은 강도정수가 아니라 절리 등 불연속면의 거동에 좌우되므로 연속체 해석 시 반영되는 강도정수는 안전측으로 하향조정하여 적용

구분	지반등급 1		지반등급 2		지반등급 3		지반등급 4		지반등급 5	
	C (t/m ²)	φ (deg)	C (t/m ²)	φ (deg)	C (t/m ²)	φ (deg)	C (t/m ²)	φ (deg)	C (t/m ²)	φ (deg)
적용	150	45	100	43	80	40	50	35	10	33

- 55 -

제1편 서론

2.5 단위중량 및 포아송비

- 단위중량 및 포아송비는 시험결과, 추정식 및 기존사례 등을 분석하여 적용
- 김교원(1993)
- $\nu = -0.17 \ln(RMR') + 0.9$

가. 시험결과 분석

지반 등급	단위중량 (t/m^3)	포아송비
2	2.61~2.73	0.15~0.26
3	2.64~2.76	0.16~0.24
4	2.45	0.31

나. 추정식에 의한 포아송비

지반 등급	김교원의 RMR'	포아송비
1	76	0.16
2	56	0.21
3	42	0.26
4	27	0.34
5	15	0.44

다. 최근 터널해석 적용사례(1990~2000년) 분석

(단위중량: t/m^3)

구분	말고개		경춘선4공구		경춘선6공구		경춘선7공구		수면터		능동터널	
	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν
지반등급 1	-	-	2.7	0.20	-	-	-	-	-	-	2.7	0.20
지반등급 2	2.6	0.20	2.6	0.20	2.7	0.25	2.65	0.20	2.65	0.20	2.6	0.20
지반등급 3	2.5	0.23	2.5	0.25	2.6	0.26	-	-	2.6	0.25	2.5	0.25
지반등급 4	2.4	0.25	2.3	0.30	2.5	0.27	2.5	0.25	2.5	0.25	2.3	0.30
지반등급 5	2.2	0.30	2.1	0.30	2.2	0.30	2.2	0.27	2.2	0.27	2.0	0.30
지반등급 6	1.9	0.35	1.9	0.35	1.9	0.35	1.9	0.30	1.9	0.30	1.8	0.35

라. 적용

(단위중량: t/m^3)

- 단위중량 및 포아송비는 시험결과, 추정식 및 기존사례 등을 면밀히 분석하여 지반등급별로 적용

구분	지반등급 1		지반등급 2		지반등급 3		지반등급 4		지반등급 5		지반등급 6	
	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν	γ	ν
적용	2.7	0.18	2.6	0.20	2.5	0.24	2.3	0.27	2.0	0.30	1.8	0.35

- 56 -

제1편 서론

2.6 축압계수

- 축압계수의 결정을 위해 3가지 항목 시험수행
 - 수압파쇄시험
 - AE(Acoustic Emission) Test
 - DRA(Deformation Rate Analysis)

가. 수압파쇄시험

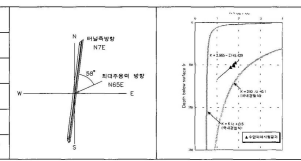
● 시험결과 분석

심도 (m)	S_v (MPa)	S_h (MPa)	S_{H1} (MPa)	K_b	K_H	Remark
94.5	2.532	3.842	5.023	1.517	1.984	최대수평 응력방향 N65E
99.1	2.655	3.544	5.157	1.335	1.942	
102.1	2.736	3.506	5.390	1.281	1.970	
105.5	2.826	3.488	5.034	1.234	1.781	

● 터널방향으로의 보정

- 터널단면방향 축압계수 K_T : $K_T = K_H \cdot \sin^2 \theta + K_b \cdot \cos^2 \theta$
- 터널축방향 축압계수 K_L : $K_L = K_H \cdot \cos^2 \theta + K_b \cdot \sin^2 \theta$
- 무기터널 방향 = N7° E

심도 (m)	K_T	K_L
94.5	1.853	1.648
99.1	1.772	1.505
102.1	1.777	1.474
105.5	1.627	1.388
범위	1.6~1.9	1.4~1.7



나. AE Test 및 DRA시험결과

구분	TB-3	TB-5	TB-6	TB-7	TB-11	범위
AE test	1.67	1.79	1.76	1.74	1.23	1.23~1.79
DRA	1.71	1.82	1.77	1.78	1.24	1.24~1.82

- 57 -

제1편 서론

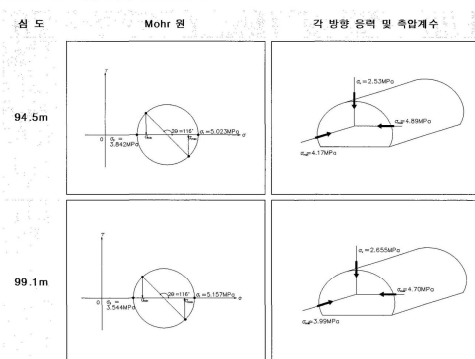
다. 축압계수의 결정

- 수압파쇄시험결과 2차원해석시 중요한 터널형상 축압계수(K_L)의 범위는 1.627~1.853(평균: 1.76)이며 터널 종방향 축압계수(K_T)의 범위는 1.388~1.648 (평균: 1.5) 일
- AE Test 및 DRA 시험결과와 형상 축압계수의 범위는 1.23~1.82 일
- 무기터널 주동과심도는 90~148m 로 축압계수 시험결과를 종합해 볼 때 1.0~2.0 범위에 위치

● 적용 축압계수

구분	지반등급 1~5	지반등급 6
터널단면방향(K_T)	1.0, 1.5, 2.0	0.5
터널 종 방향(K_L)	1.5	

라. 심도별 터널 축방향 수평응력의 크기 선정



- 58 -

제1편 서론

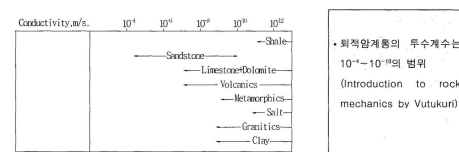
2.7 투수계수

- 침투해석을 위한 지반 및 지보재의 투수계수는 시험결과 및 관련문헌자료 등을 분석하여 결정함
- 투수계수 분석결과 대체적으로 큰 경향을 보이는데, 이는 본 터널통과구간 주기변형인 퇴적암의 특성상 응력, 절리역 발달에 기인한 것으로 판단됨.

가. 수압시험 성과분석

지반등급	투수계수 (cm/sec)	범위
2	1.224E-4 ~ 3.582E-7	5.00E-6
3	1.427E-4 ~ 2.251E-6	2.00E-5
4	1.250E-4	1.25E-4

나. 관련문헌 조사



다. 숏크리트 및 부직포의 투수계수

- 현재 숏크리트층에 대한 투수시험 자료가 없는 관계로 콘크리트 투수계수의 5배를 적용
- 일반적인 부직포의 투수계수는 1.0~9.0E-1 cm/sec(평균 5.0E-1) 일.

구분	숏크리트	부직포
투수계수 (cm/sec)	5.0E-5	5.0E-1

라. 적용 투수계수

지반등급	투수계수 (cm/sec)	비고
1	1.00E-6	숏크리트 5.0E-5 cm/sec
2	5.00E-6	
3	2.00E-5	
4	1.25E-4	부직포 5.0E-1 cm/sec
5	1.50E-4	

- 59 -

제1면 서론

2.8 불연속체 해석을 위한 절리면특성지 선정

- 암반 거동의 지배요인인 불연속면을 고려한 터널의 안정성 검토를 위해.
- 절리의 거동은 변형과 강도에 대한 절리표면 거칠기(JRC)로 인해 전단에 의한 암반의 파괴변화가 발생하는 비선형 거동을 보이므로 이를 반영할 수 있는 Barton-Bandis 모델을 적용.

Barton-Bandis Model

$$\tau = \sigma_n \tan \left[\text{JRC} \log \left(\frac{\text{JCS}}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right]$$

여기서, σ_n : 절리면에 대한 유효수직응력

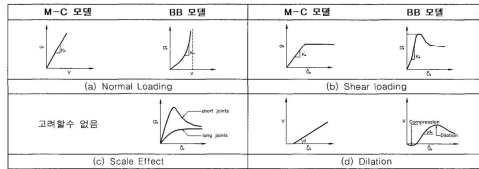
ϕ_r : 잔류마찰각

● Barton Bandis 모델의 필수입력자료

Property	Description	산정방법
ρ	암반불록의 밀도	연속체 설계정수 적용
K	불록의 세직변형계수	연속체 설계정수 적용
G	불록의 전단변형계수	연속체 설계정수 적용
JK_n	불연속면의 수직강성	절리면 전단시험결과 분석
JK_s	불연속면의 전단강성	절리면 전단시험결과 분석
JRC	불연속면 거칠기	지표지질조사 결과 분석
JCS	불연속면의 강도	지표지질조사 결과 분석
L_0	불연속면의 길이	시험편 전단면길이 : 10cm
ϕ_r	불연속면의 잔류마찰각	peak 치의 2/3 적용

● Barton Bandis 모델 및 Mohr-Coulomb 모델의 특성비교

Barton-Bandis 모델은 전단에 의한 암반의 파괴변화가 발생하는 비선형 거동을 반영할 수 있으나 Mohr-Coulomb 모델은 선형거동이므로 이를 반영할 수 없음



- 60 -

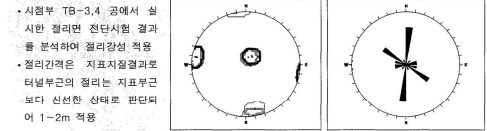
제1면 서론

가. 구간별 적용 불연속면

- 불연속면은 지표지질조사, BIPS 및 Televiewer 탐사결과 등을 면밀히 분석하여 구간별로 분류하였으며 불연속체해석인 UDEC, 3DEC 및 Key Block 해석시 입력 불연속면으로 사용함

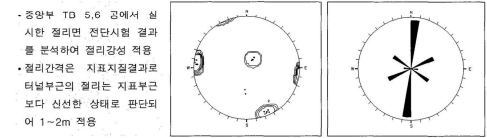
● 시험부 (STA.0+380 ~ STA.0+800)

구 분	주향/경사	연장성 (m)	간 격 (cm)	간 폭 (mm)	JRC	JCS (kg/cm ²)	SHV
J1	N5~15E/80~86SE	15	10~20	2~3	6~8	800	48
J2	N80~88E/75~88NW	20	5~10	1~2	4~6	370	32
B	N45~55W/12~18SW	5	20	1~2	6~8	370	32
R	N16E~20W/75NW~80SW	10	-	2~3	2~4	370	32



● 중앙부 (STA.0+800 ~ STA.1+460)

구 분	주향/경사	연장성 (m)	간 격 (cm)	간 폭 (mm)	JRC	JCS (kg/cm ²)	SHV
J1	N10~15E/82~90SE	3~4	10~30	0.5~1	2~4	520	40
J2	N70~75E/80~85NW	0.5~1	10~30	0.2~1	4~6	520	40
B	N50~54W/14~20SW	5~10	20	0.1~1	4~6	430	35
R	N80~85W/35~45NE	5~10	50~200	1~1.5	0~2	440	36



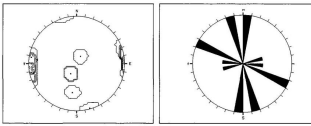
- 61 -

제1면 서론

● 종점부 (STA.1+460 ~ STA.1+840)

구 분	주향/경사	연장성 (m)	간 격 (cm)	간 폭 (mm)	JRC	JCS (kg/cm ²)	SHV
J1	N80~86W/85~86SE	5~10	20~50	1~3	2~4	520	40
J2	N6W~10E/66SW~75SE	1~3	10~30	0.5~1	2~4	440	36
B	N40~45W/14~16SW	5~10	10~30	1~5	2~4	650	44

- 종점부 TD-7.0 공에서 실시한 절리면 전단시험 결과를 분석하여 절리강성 적용
- 절리간격은 지표지질결과로 터널부근의 절리는 지표부근 보다 선선한 상태로 판단되어 1~2m 적용



나. 구간별 적용 절리면특성지

- 절리의 수직강성과 전단강성은 구간별 절리면 전단시험 결과를 분석하여 적용
- 절리면 압축강도(JCS)는 구간별로 실시한 Schmidt Hammer Value값을 ISRM(1978)에서 제시한 평가방법으로 환산하여 평균치 적용
- 절리면 거칠기(JRC)는 구간별 평균치 적용

● 절리면 전단시험 결과

공 번	심 도 (m)	K_n (10^4 t/m ²)	K_s (10^4 t/m ²)	C (t/m ²)	ϕ (deg)	비 고
TB-3	19.5	5.12	5.81	24	39.3	시험부
TB-4	19.9	4.65	2.65	7	29.9	
TB-5	75.8	4.93	5.22	11	32.5	
TB-6	94.0	6.73	6.10	13	31.1	중앙부
TB-7	21.4	6.96	9.14	7	36.3	
TB-8	29.9	6.54	5.96	0	34.6	종점부

● 구간별 적용 절리면특성지

구 간	수직강성 K_n (10^4 t/m ²)	전단강성 K_s (10^4 t/m ²)	절리면 전단강도 C (t/m ²)	ϕ (deg)	JCS (kg/cm ²)	JRC	잔 류 마찰각 (ϕ_r , deg)	시험편 전단길이 (m)
시험부	4.88	4.23	15.5	34.6	478	6	23.1	0.1
중앙부	5.83	5.66	12.0	31.8	478	4	21.2	0.1
종점부	6.75	7.55	3.5	35.4	537	3	23.6	0.1

- 62 -

제1면 서론

3. 산정결과

가. 연속체 입력특성지

구 분	지반등급 1	지반등급 2	지반등급 3	지반등급 4	지반등급 5	지반등급 6
γ (t/m ³)	2.7	2.6	2.5	2.3	2.0	1.8
C (t/m ²)	150	100	80	50	10	0.5
ϕ (deg)	45	43	40	35	33	30
E (t/m ²)	2,000,000	1,000,000	500,000	200,000	60,000	5,000
ν	0.18	0.20	0.24	0.27	0.30	0.35
k (cm/sec)	1.0E-6	5.0E-6	2.0E-5	1.25E-4	1.50E-4	

나. 축압계수

구 분	지반등급 (1~5)	지반등급 (6)
터널단면방향 (K_x)	1.0, 1.5, 2.0	0.5
터널 종 방향 (K_z)	1.5	

다. 불연속체 입력특성지

구 간	수직강성 K_n (10^4 t/m ²)	전단강성 K_s (10^4 t/m ²)	절리면 전단강도 C (t/m ²)	ϕ (deg)	JCS (kg/cm ²)	JRC	잔 류 마찰각 (ϕ_r , deg)	시험편 전단길이 (m)
시험부	4.88	4.23	15.5	34.6	478	6	23.1	0.1
중앙부	5.83	5.66	12.0	31.8	478	4	21.2	0.1
종점부	6.75	7.55	3.5	35.4	537	3	23.6	0.1

라. 지반대 특성지

구 분	압축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (t/m ²)	단위중량 (t/m ³)	포아송비 (ν)	단면적 (cm ²)
연한 슛크리트	100	500,000	2.4	0.2	-
강한 슛크리트	210	1,500,000	2.4	0.2	-
목 볼 트	-	21,000,000	7.85	-	4.9
구 분	스 크 리 트			부 적 포	
두수계수 (cm/sec)	5.0E-5			5.0E-1	

- 63 -

4) 암반에 따른 암석 실내시험 결과

암반	비중	흡수율 (%)	탄성파속도 (m/sec)		일축 압축강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	삼축압축시험		탄성계수 (kgf/cm ²)	포아송비
			P파	S파			점착력 (kgf/cm ²)	내부 마찰각 (°)		
풍화암	2.45	2.60	1,080	670	140	10	20	51.1	0.08×10^5	0.31
보통	2.65	0.77	4,874	2,648	1,668	128	260	53.3	3.72×10^5	0.20
경암	2.70	0.33	5,476	2,956	1,929	189	296	52.7	4.40×10^5	0.20

5) 암중에 따른 암석 실내시험 결과

암종	비중	흡수율 (%)	탄성파속도 (m/sec)		일축 압축강도 (kgf/cm ²)	인장강도 (kgf/cm ²)	삼축압축시험		탄성계수 (kgf/cm ²)	포아송비
			P파	S파			점착력 (kgf/cm ²)	내부 마찰각 (°)		
화강암	2.60	0.99	4,098	2,300	1,674	94	220	56.16	3.51×10^5	0.23
세립사암	2.71	0.42	5,440	2,900	1,735	185	291	50.98	4.15×10^5	0.20
혼펠스화된 세일	2.67	0.30	5,450	3,040	2,280	215	295	55.95	4.43×10^5	0.21

6) 구간별 지층분석 결과

위 치	지층분석 결과	
시점부 (시점 갱구부)	시 추 조 사	· 중생대 백악기의 흑운모 화강암으로 중립~조립의 암상을 보임 · 화강암이 풍화를 많이 받아 핵석 형태로 존재하기로 함 · 화강암 관입으로 퇴적암이 호온펠스화되었고, 울산단층의 영향으로 균열 및 파쇄됨
	탄 성 파 검 사	· 경암 경계인 속도 2,900km/s의 층 경계가 지표로부터 약 50m 심도까지 분포 · 0+290~0+520 구간은 저속도층이 터널구간까지 발달, 파쇄대가 터널구간을 관통 · 0+400~0+500 구간 천부 700m/s 이하의 저속도층이 약 10m두께로 존재
중앙부 (본선 구간)	시 추 조 사	· 화강암류에 의한 접촉변성작용의 결과로 호온펠스화, 풍화에 강하고 큰 전석으로 블록화 된 노두가 많음 · 퇴적암인 사암, 이암 및 셰일의 호층상태로 분포
	탄 성 파 검 사	· 0+970 이후는 저속도층이 20m 내외의 두께로 분포하고, 심부에 고속도층이 분포함 · 0+840~1+120 구간 천부에 표토층과 파쇄구간이 발달함
종점부 (종점 갱구부)	시 추 조 사	· 퇴적암인 사암, 이암 및 셰일의 호층상태로 분포
	탄 성 파 검 사	· 1+740 이후는 저속도층이 10m 이내의 두께로 천부에만 분포함 · 1+610 에 분포한 파쇄대가 1+670에서 터널 영향권까지 발달 · 1+800 이후는 천부의 저속도층이 터널구간에 위치함

5.2.2 시설물 점검이력

대상시설물은 1종 시설물로서 준공이후 기준에 따라 정기안전점검 및 정밀안전점검, 정밀안전진단, 성능평가 등을 지속적으로 실시해 왔으며, 기 점검 이력사항은 다음과 같다.

【표 5.2.1】 문수터널(부산) 점검이력사항

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
1	정기안전 점검	2025.03.03 ~2025.06.30	한국도로공사	양호	· 갭문 상부 철근 노출, 녹물 흔적 등 · 공동구 덮개 균열 및 파손 등 · 포장 균열, 파손 등 · 배수시설 상부 균열, 집수정 이물질 퇴적 등
2	정밀안전 진단	2024.03.11 ~2024.08.23	(주)명성엔지니어링	B	• 문수터널(부산)에 대한 정밀안전진단 결과, 국부적으로 손상이 발생하였으나 시설물의 전반적인 안전성 및 기능성에는 특별한 문제가 없는 상태로써 주기적인 점검을 통한 관리를 시행한다면 대상시설물의 사용성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다. • 금회 상태평가 결과 “B등급”, 안전성평가 결과 “A등급”으로 평가되어 종합평가 등급이 “B등급”으로 산정되었다. • 환산결함도 점수가 23년 정밀안전점검 0.174 ⇨ 24년 정밀안전진단 0.204로 상승한 것으로 분석되었으며, 환산결함도 점수 상승의 주요원인으로는 금회 진단에서 정밀한 외관조사를 통해 기존 점검과 비교시 천장부에 발생한 균열이 증가하여 결함점수 조정에 따른 것으로 판단된다. • 대상 시설물은 금회 진단결과, 정밀안전진단 및 사용제한이 필요치 않다.
3	1종성능 평가	2024.03.11 ~2024.08.23	(주)명성엔지니어링	B	-안전성능평가 결과, 성능평가점수 0.14, 등급 a로 평가 -내구성능평가 결과, 성능평가점수 0.18, 등급 b로 평가 -사용성능평가 결과, 성능평가점수 0.23, 등급 b로 평가 -종합성능평가 결과, 성능평가점수 0.16, 등급 b로 평가
4	정기안전 점검	2024.03.01 ~2024.06.28	자체수행	양호	공동구 내 식생
5	정밀안전 점검	2023.02.20 ~2023.08.23	(주)엠케이에스이	B등급	-천장부 균열, 재균열(0.3mm미만), 망상균열, 시공이음 박락 및 보수부 박락 -측벽부 균열, 재균열(0.3mm미만,이상), 망상균열, 박락, 타일균열, 타일파손및탈락 -갭문 상태양호 -배수시설 균열(0.3mm미만,이상), 파손, 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식 -공동구 균열, 재균열(0.3mm미만,이상), 백태, 파손, 덮개파손 -포장부 망상균열, 마모, 파손, 패임 -사면 표층유실 -외부 배수로 토사퇴적
6	정기안전 점검	2023.03.06 ~2023.06.26	자체수행	양호	-천장부 균열 및 보수부 재균열(cw=0.3mm미만), 망상균열, 박락, 보수부 박락 등 -측벽부 균열(cw=0.3mm미만,이상), 망상균열, 백태, 타일 파손 및 탈락, 균열 등 -배수시설 측구 균열(cw=0.3mm미만,이상), 파손, 집수구 토사퇴적 및 그레이팅 부식 등 -공동구 균열(cw=0.3mm미만,이상), 보수부 재균열, 파손, 덮개파손 등 -포장부 포장 망상균열, 포장 마모, 포장 파손 등

【표 5.2.1】 문수터널(부산) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
7	정기안전 점검	2022.09.21 ~2022.10.20	자체수행	양호	전반적으로 상태가 양호함, 세부결과 보고서 참고
8	정기안전 점검	2022.06.20 ~2022.06.24	자체수행	양호	전반적으로 상태가 양호함, 세부결과 보고서 참고
9	정밀안전 점검	2021.03.03 ~2021.08.23	(주)아워브 레인	B등급	- 천단부 : 균열, 망상균열, 철근노출, 파손 등 - 측벽부 : 타일탈락 및 파손 - 갭문 : 배수로 균열 - 공동구 : 균열, 망상균열, 박락, 파손, 철근노출, 들뜸, 굽힘, 덮개손상 등 - 배수시설 : 측구 균열, 파손, 집수구 토사퇴적, 그레이팅부식 등 - 포장면 : 균열, 파손, 재료분리 등 - 부속시설 : 조명유리파손, 볼트미체결, 점검로 지주탈락 등
10	정기안전 점검	2021.06.14. ~2021.06.14	자체수행	양호	-배수상태 : 집수정 그레이팅커버 이물질퇴적 -공동구상태 : 커버 균열 및 파손
11	정기안전 점검	2020.10.19 ~2020.10.19	자체수행	양호	-양호
12	정기안전 점검	2020.06.30 ~2020.06.30	자체수행	양호	-양호함
13	정기안전 점검	2019.05.29 ~2019.05.29	자체수행	양호	공동구 균열 및 파손 집수정 이물질퇴적
14	정밀안전 진단	2018.08.16 ~2019.08.23	(주)동성엔 지니어링	B등급	라이닝 균열(cw=0.3mm미만,이상), 보수부 재균열(cw=0.3mm 미만,이상), 철근노출 벽체 균열(cw=0.3mm미만), 균열(cw=0.3mm이상), 파손 타일마감부 타일마감 타일파손, 타일탈락 공동구 균열(cw=0.3mm미만), 균열(cw=0.3mm이상), 망상균열, 파손, 파손 및 철근노출, 굽힘, 덮개파손, 난간 파손, 난간지주탈락 등 배수로 균열(cw=0.3mm미만,이상), 파손 배수시설 집수구 토사퇴적, 그레이팅부식 포장부 균열, 파손, 재료분리 피난연락갱 균열(cw=0.3mm미만,이상) 기타 조명커버파손
15	1층성능 평가	2018.08.16 ~2019.08.23	(주)동성엔 지니어링	B등급	라이닝 균열(cw=0.3mm미만,이상), 보수부 재균열(cw=0.3mm 미만,이상), 철근노출 벽체 균열(cw=0.3mm미만), 균열(cw=0.3mm이상), 파손 타일마감부 타일마감 타일파손, 타일탈락 공동구 균열(cw=0.3mm미만), 균열(cw=0.3mm이상), 망상균열, 파손, 파손 및 철근노출, 굽힘, 덮개파손, 난간 파손, 난간지주탈락 등 배수로 균열(cw=0.3mm미만,이상), 파손 배수시설 집수구 토사퇴적, 그레이팅부식 포장부 균열, 파손, 재료분리 피난연락갱 균열(cw=0.3mm미만,이상) 기타 조명커버파손
16	정기안전 점검	2018.12.17 ~2018.12.17	자체수행	양호	- 양호함
17	정기안전 점검	2018.06.04~ 2018.06.04	자체수행	양호	- 양호함

【표 5.2.1】 문수터널(부산) 점검이력사항(계속)

번호	구분	기간	점검업체	등급	주요 점검 결과
18	정기안전 점검	2017.10.19 ~2017.10.19	자체수행	양호	- 양호함
19	정기안전 점검	2017.05.23 ~2017.05.23	자체수행	양호	- 양호함
20	정밀안전 점검	2016.11.16 ~2016.12.30	씨엘엠건설 (주)	A등급	외관조사 결과 라이닝에 발생된 결함은 대부분 균열로서 라이닝 천정부 종방향 및 횡방향 균열이 대부분을 차지하며 콘크리트 타설시 급속타설, 수화열, 건조수축 등에 기인한 것으로 구조적 원인에 의한 균열은 없는 것으로 판단되므로, 손상에 대한 적정공법의 보수를 실시하고 향후 균열 재발생 여부에 대한 점검이 필요한 것으로 판단됨. 또한 외부충격, 공용년수 경과 등에 의해 발생된 공동구 파손, 균열 및 덮개 파손, 타일 탈락, 배수구 토사퇴적 등의 손상에 대해서도 손상현황에 따른 적절한 보수조치를 병행하여 주기적인점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단됨.
21	정기안전 점검	2016.10.11 ~2016.10.11	자체수행	양호	- 양호함
22	정밀안전 점검	2016.05.18 ~2016.05.18	자체수행	A등급	- 라이닝 균열 등
23	정기안전 점검	2015.12.07 ~2015.12.07	자체수행	양호	- 양호
24	정기안전 점검	2015.05.18~ 2015.05.18	자체수행	양호	- 집수정 막힘
25	정기안전 점검	2014.11.26 ~2014.11.26	자체수행	양호	- 양호
26	정기안전 점검	2014.06.18 ~2014.06.18	자체수행	양호	- 양호
27	정밀안전 점검	2013.10.01 ~2013.12.03	자체수행	A등급	- 라이닝 균열
28	정기안전 점검	2013.11.13 ~2013.11.13	자체수행	양호	- 양호
29	정기안전 점검	2012.10.10 ~2012.10.10	자체수행	양호	- 양호
30	정기안전 점검	2012.06.13 ~2012.06.14	자체수행	양호	- 양호
31	정기안전 점검	2011.11.28 ~2011.11.28	자체수행	양호	- 테라스부분 누수
32	정기안전 점검	2011.05.02 ~2011.05.04	자체수행	양호	- 테라스부분 누수
33	정기안전 점검	2010.07.07 ~2010.12.08	자체수행	양호	- 양호함
34	정기안전 점검	2009.08.04 ~2009.11.25		양호	- 이상없음
35	정기안전 점검	2009.03.06 ~2009.06.30		양호	- 이상없음

5.2.3 전차 정밀안전진단 실시결과(2024년 08월)

【표 5.2.2】 문수터널(부산) 전차 정밀안전진단 사항

구 분		정밀안전진단 결과
점검개요		· 점검기관 : (주)명성엔지니어링 · 점검기간 : 2024년 03월 ~ 2024년 08월
상 태 평 가	외관 조사	· 천장부 균열(0.3mm미만, 이상), 재균열(0.3mm미만, 이상), 콘크리트 박락, 철근노출, 마감불량 · 측벽부 균열(0.3mm미만, 이상), 파손, 타일 파손 및 탈락 · 갭문 상태양호 · 사면 외부배수로 균열, 재균열 (0.3mm이상) · 공동구 균열(0.3mm미만, 이상), 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 박락, 철근노출, 보수부 들뜸, 굽힘, 파손, 덮개 파손 · 배수시설 측구 균열(0.3mm미만, 이상), 측구 파손, 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식 · 포장부 포장 균열, 포장 파손, 포장마모, 포장파손, 포장 폐임, 재료분리 · 기타 부속시설 상태양호
	내구성 조사	· 내구성 시험 결과 콘크리트 강도와 철근탐사 결과는 양호한 상태를 나타내고 있으며, 염화물함유량 시험결과와 탄산화깊이는 모두 ‘a’ 등급으로 평가되어 염화물 또는 탄산화에 의한 철근부식 가능성이 없는 것으로 조사되었다.
	상태 등급	· 상태평가 결함도점수 : 0.204(B)
	안전성평가 등급	· 안전율(S·F) : 1.47(A)
	종합평가 (안전등급)	· 문수터널(부산)의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 보조 부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 “B” 로 평가됨. · 안전성평가 결과, 문수터널(부산)은 응력 및 단면력은 허용범위 이내에서 작용하고 있으며, 최소 안전율 1.0이상을 확보하고 있는 “A” 로 평가됨. · 상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 문수터널(부산)은 “B” 로 평가됨
종합결론		· 문수터널(부산)에 대한 정밀안전진단 결과, 국부적으로 손상이 발생하였으나 시설물의 전반적인 안전성 및 기능성에는 특별한 문제가 없는 상태로서 주기적인 점검을 통한 관리를 시행한다면 대상시설물의 사용성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다. · 금회 상태평가 결과 “B등급”, 안전성평가 결과 “A등급” 으로 평가되어 종합평가 등급이 “B등급” 으로 산정되었다. · 환산결함도 점수가 23년 정밀안전점검 0.174 ⇨ 24년 정밀안전진단 0.204로 상승한 것으로 분석되었으며, 환산결함도 점수 상승의 주요원인으로는 금회 진단에서 정밀한 외관조사를 통해 기존 점검과 비교시 천장부에 발생한 균열이 증가하여 결함점수 조정에 따른 것으로 판단된다. · 대상 시설물은 금회 진단결과, 정밀안전진단 및 사용제한이 필요치 않다.

5.2.4 전차 정밀안전점검 실시결과(2023년 08월)

【표 5.2.3】 문수터널(부산) 전차 정밀안전점검 사항

구 분		정밀안전점검 결과
점검개요		· 점검기관 : (주)엠케이에스이 · 점검기간 : 2023년 02월 20일 ~ 2023년 08월 23일
상태 평가	외관 조사	· 천장부 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 망상균열, 시공이음부 박락, 철근노출, 마감불량 · 측벽부 타일 균열 및 탈락 · 배수시설 측구 균열(0.3mm미만, 이상) 및 파손, 집수구 이물질 퇴적, 그레이팅 부식 · 공동구 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상) 및 망상균열, 파손, 철근노출, 덮개 파손 · 포장부 균열 및 망상균열, 마모, 파손, 재료분리 · 갹문 상태양호 · 피난연락갹 상태양호 · 갹구부 사면 상태양호, 외부 배수로 균열(0.3mm이상)
	내구성 조사	· 내구성시험 결과, 반발경도법에 의한 비파괴 강도는 100%를 상회하는 것으로 측정되어 강도저하는 없는 것으로 판단되고 탄산화 시험은 모든 측정부위에서 탄산화 잔여깊이가 30mm이상으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 발생하지 않은 것으로 검토되었다.
	상태 등급	· 본 문수터널(부산)의 상태평가 결과 “보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한” 「B등급」의 상태로 평가되었다.
보수·보강		· 표면보수, 주입보수, 단면보수, 청소, 덮개 재설치 등
종합결론		1) 문수터널(부산)는 준공 후 15년이 경과된 NATM 터널로 금회 정밀안전점검결과 콘크리트 라이닝에서 균열(0.3mm미만, 0.3mm이상), 망상균열, 시공이음부 들뜸 및 박락, 철근노출, 마감불량 등이 발생하고 터널 주변시설의 배수시설 집수구 막힘, 측구 균열 및 파손, 공동구 균열 및 파손, 덮개 파손, 포장부 균열 및 줄눈 주변 파손 등의 손상이 조사되어 손상부에 대한 적절한 보수가 요구된다. 콘크리트 라이닝의 시공이음부에 발생한 들뜸 및 박락은 향후 손상부 탈락으로 주행차량의 안전사고가 우려되므로 우선적으로 손상 제거 후 보수 등의 유지관리가 요구된다. 2) 내구성시험 결과, 반발경도법에 의한 비파괴 강도는 100%를 상회하는 것으로 측정되어 강도저하는 없는 것으로 판단되고 탄산화 시험은 모든 측정부위에서 탄산화 잔여깊이가 30mm이상으로 탄산화에 의한 내구성 저하는 발생하지 않은 것으로 검토되었다. 3) 따라서, 본 터널은 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태」인 “B등급”으로 평가 되었으며, 금회 점검시 조사된 손상결함부에 대하여 보수를 시행한다면 공용상의 문제는 없을 것으로 판단되고 시설물 등급의 상향 또는 현 상태의 등급을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 4) 기타 필요한 사항 -터널의 효율적인 유지관리를 위한 내부에 스팬(Span) 번호(No.)가 적힌 명판 설치 필요 -일부 공동구 덮개파손으로 점검·유지관리자의 이동시 전도 등의 안전사고가 발생할 수 있으므로 파손부 교체와 함께 점검·유지관리자에 대한 안전교육 필요

5.2.5 수집자료 검토결과 및 점검방향 설정

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	◇ 준공도서 - 기반조사보고서 - 각종계산서 - 공사시방서 - 준공내역서 - 준공도면 - 실시설계보고서 - 기타 특이사항 보고서 - 사고기록 등	◇ 구조계산서 및 준공도면은 설계당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨 ◇ 주요 설계변경 내용 및 시공시 문제점이 없는 것으로 파악됨	◇ 현장조사 시 부재치수를 실측하여 준공도면과 비교·검토함 ⇒ 치수가 상이할 경우 도면을 재작성하며 실측치를 구조계산에 반영(발주처협의) ⇒ 치수가 동일할 경우 준공도면을 기준으로 과업 진행 ◇ 구조물의 제원변경확인 및 추가손상 발생에 대한 안정성 확보여부 확인
유 지 관 리 자 료	◇ 전차 성능평가 보고서 ◇ 전차 정밀안전점검 및 정밀안전진단 보고서 ◇ 사고기록 ◇ 보수·보강 이력 - 시설물정보관리종합시스템(FMS) 및 전차 점검보고서 보수 및 점검이력	◇ 부재별 증점손상 - 라이닝 균열, 재균열, 망상균열 - 라이닝 들뜸 및 박락 - 공동구 덮개 파손 - 사면 배수로 균열, 재균열 - 포장부 포장파손 ◇ 주기적인 보수실시	◇ 전회 점검결과와 금회 점검결과를 비교·검토하여 추가 손상 및 진전 여부를 확인하여 대책방안 마련 ◇ 보수부 상태 확인

5.2.6 시설물 보수 이력

시설물통합정보관리시스템(FMS) 및 관리주체 보수·보강 이력사항, 기존 점검자료에서 확인된 보수·보강이력은 다음과 같다.

【표 5.2.4】 문수터널(부산) 보수이력사항

NO	보수위치	내용	기간	공사비	시공자	비고
1	천장부	2022년 울산지사 관내 시설물 연간 유지보수공사 - 주입보수 -	2022-01-03 ~ 2022-12-31	10,000	진양건설(주) 이재명	
2	천장부	2022년 울산지사 관내 시설물 연간 유지보수공사 - 라이닝 균열보수 -	2022-01-03 ~ 2022-11-30	20,000	진양건설(주) 이재명	

5.2.7 시설물의 내진설계 여부 확인

【표 5.2.5】 내진설계 여부 확인

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	내진성능평가 대상여부
시점부	Y	철근보강	· 지진하중에 의해 발생한 단면력은 상시하중의 철근보강(주철근 D19@125)으로도 안전함	N
· 준공도서 및 FMS상 내진설계는 적용된 것으로 확인되었다.				

5.2.8 시설물의 용도변경 여부 확인

FMS(시설물정보종합관리시스템) 상에 용도변경 이력은 없는 것으로 확인되었다.

5.2.9 시설물의 하중변화 여부 확인

FMS(시설물정보종합관리시스템) 상에 하중변화 이력은 없는 것으로 확인되었다.

5.3 현장조사

5.3.1 개요

문수터널(부산)은 울산광역시 울주군 청량면(부산울산선 44.5km)에 위치한 1종 터널 시설물로, 2008년 12월에 준공되어 약 17년이 경과되었으며, 지리적인 위치는 영취산(352m)의 동쪽 자락을 기준으로 남북을 관통하여 위치해 있으며, 총연장은 1,508.0m, 폭 10.8m, 높이 8.2m이고 편도 3차로 시공되었다.

본 터널은 NATM공법으로 시공된 굴착터널로서, 종단구배는 0.500%, 평면선형은 곡선($R=1,494.9$)으로 시공되었으며, 갱문은 시점 및 종점 모두 벨마우스식(마제형)이고, 환기방식은 강제 환기(Jet-Fan)방식이다.

과업 대상시설물에 대한 외관조사는 터널의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단할 목적으로 터널부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 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 손상에 대한 사전검토 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_터널편(2024.12, 국토교통부/국토안전관리원)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

문수터널(부산)에 대한 외관조사는 사전조사를 통해 확인된 현장여건을 고려하여 고소점검차를 활용하였으며, 기본시설물(라이닝, 공동구 등)과 부대시설(피난연락갱, 환기구 등)로 구분하여 현장조사를 실시하였고, 터널의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무를 확인하는데 주안점을 두었다.

본 장에서는 외관조사결과 확인된 결함과 손상 상태에 대하여 터널의 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 터널의 점검 및 유지관리시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.



가. 장비사용 현황

Span번호	조사방법 및 접근성	조사기간	비고
S1~S171	도보, 고소점검차	2024.04.17	
			
도보조사 전경	측점분할 전경		
			
고소점검차를 이용한 근접조사	고소점검차를 이용한 근접조사		
			
비파괴장비 사용 현황	비파괴장비 사용 현황		

【그림 5.3.1】 외관조사 및 장비사용 현황

나. 터널 구간 분할

정밀안전점검을 위한 외관조사, 비파괴 시험, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위하여 측점분할 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 터널 내에 측점표시 또는 구간이 명확하게 구분되어 있지 않는 경우는 구간분할에 따른 오차를 최소화할 수 있도록 구분되어야 하며 통상적으로 현장에서 직접 확인이 가능한 시공(신축)이음부를 기준으로 분할하는 것이 타당하다. 본 터널은 1508.0m터널로써 구조물의 형식은 다음 그림과 같이 총 171SPAN 구간으로 분할하였다. 또한, 상태평가를 위한 쉬트(Sheet) 구분을 하였고, 그 결과는 [표 5.3.1]에 수록하였다.

S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
철근구간									
S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
철근구간	무근구간								
S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30
철근구간	무근구간								
S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S40
무근구간									
S41	S42	S43	S44	S45	S46	S47	S48	S49	S50
철근구간	철근구간								
S51	S52	S53	S54	S55	S56	S57	S58	S59	S60
무근구간				철근구간				무근구간	
S61	S62	S63	S64	S65	S66	S67	S68	S69	S70
무근구간									
S71	S72	S73	S74	S75	S76	S77	S78	S79	S80
무근구간									

【그림 5.3.2】 Span별 시공현황

S81	S82	S83	S84	S85	S86	S87	S88	S89	S90	
무근구간										
S91	S92	S93	S94	S95	S96	S97	S98	S99	S100	
무근구간										
S101	S102	S103	S104	S105	S106	S107	S108	S109	S110	
무근구간										
S111	S112	S113	S114	S115	S116	S117	S118	S119	S120	
무근구간										
S121	S122	S123	S124	S125	S126	S127	S128	S129	S130	
무근구간				철근구간	무근구간			철근구간		
S131	S132	S133	S134	S135	S136	S137	S138	S139	S140	
철근구간		무근구간								
S141	S142	S143	S144	S145	S146	S147	S148	S149	S150	
무근구간										
S151	S152	S153	S154	S155	S156	S157	S158	S159	S160	
철근구간	무근구간									
S161	S162	S163	S164	S165	S166	S167	S168	S169	S170	S171
무근구간					철근구간					

【그림 5.3.2】 Span별 시공현황(계속)

【표 5.3.1】 구간분할

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
철근구간	Sh1	S1	9.0	9.0	무근구간	Sh17	S44	8.5	387.0
		S2	8.0	17.0		Sh18	S45	8.5	395.5
		S3	9.0	26.0			S46	9.5	405.0
	Sh2	S4	7.5	33.5			S47	9.0	414.0
		S5	8.0	41.5		Sh19	S48	9.5	423.5
		S6	7.0	48.5			S49	9.5	433.0
	Sh3	S7	7.0	55.5			S50	9.0	442.0
		S8	7.5	63.0		Sh20	S51	9.5	451.5
		S9	7.5	70.5			S52	6.0	457.5
	Sh4	S10	9.5	80.0			S53	9.5	467.0
		S11	9.5	89.5			S54	9.5	476.5
무근구간	Sh5	S12	8.5	98.0	철근구간	Sh21	S55	5.5	482.0
		S13	9.0	107.0			S56	8.5	490.5
		S14	8.5	115.5		Sh22	S57	5.5	496.0
	Sh6	S15	9.5	125.0			S58	9.0	505.0
		S16	9.0	134.0	무근구간	Sh23	S59	9.5	514.5
		S17	9.0	143.0			S60	9.0	523.5
	Sh7	S18	8.5	151.5			S61	9.5	533.0
		S19	9.0	160.5		Sh24	S62	8.5	541.5
		S20	9.0	169.5			S63	9.0	550.5
철근구간	Sh8	S21	9.0	178.5			S64	9.5	560.0
무근구간	Sh9	S22	9.0	187.5		Sh25	S65	9.0	569.0
		S23	8.5	196.0			S66	9.5	578.5
		S24	9.5	205.5			S67	8.5	587.0
	Sh10	S25	9.5	215.0		Sh26	S68	9.0	596.0
		S26	9.0	224.0			S69	9.0	605.0
		S27	9.5	233.5			S70	9.0	614.0
	Sh11	S28	8.5	242.0		Sh27	S71	9.5	623.5
		S29	8.5	250.5			S72	8.5	632.0
		S30	9.5	260.0			S73	9.0	641.0
	Sh12	S31	9.0	269.0		Sh28	S74	9.5	650.5
		S32	9.5	278.5			S75	9.0	659.5
		S33	8.5	287.0			S76	9.0	668.5
	Sh13	S34	9.0	296.0		Sh29	S77	9.5	678.0
		S35	9.5	305.5			S78	9.0	687.0
		S36	9.0	314.5			S79	9.0	696.0
	Sh14	S37	9.5	324.0		Sh30	S80	9.0	705.0
		S38	9.5	333.5			S81	9.0	714.0
		S39	9.0	342.5			S82	9.0	723.0
	Sh15	S40	9.0	351.5		Sh31	S83	9.0	732.0
철근구간	Sh16	S41	9.0	360.5			S84	9.0	741.0
무근구간	Sh17	S42	9.0	369.5			S85	9.0	750.0
		S43	9.0	378.5		Sh32	S86	9.0	759.0

【표 5.3.1】 구간분할(계속)

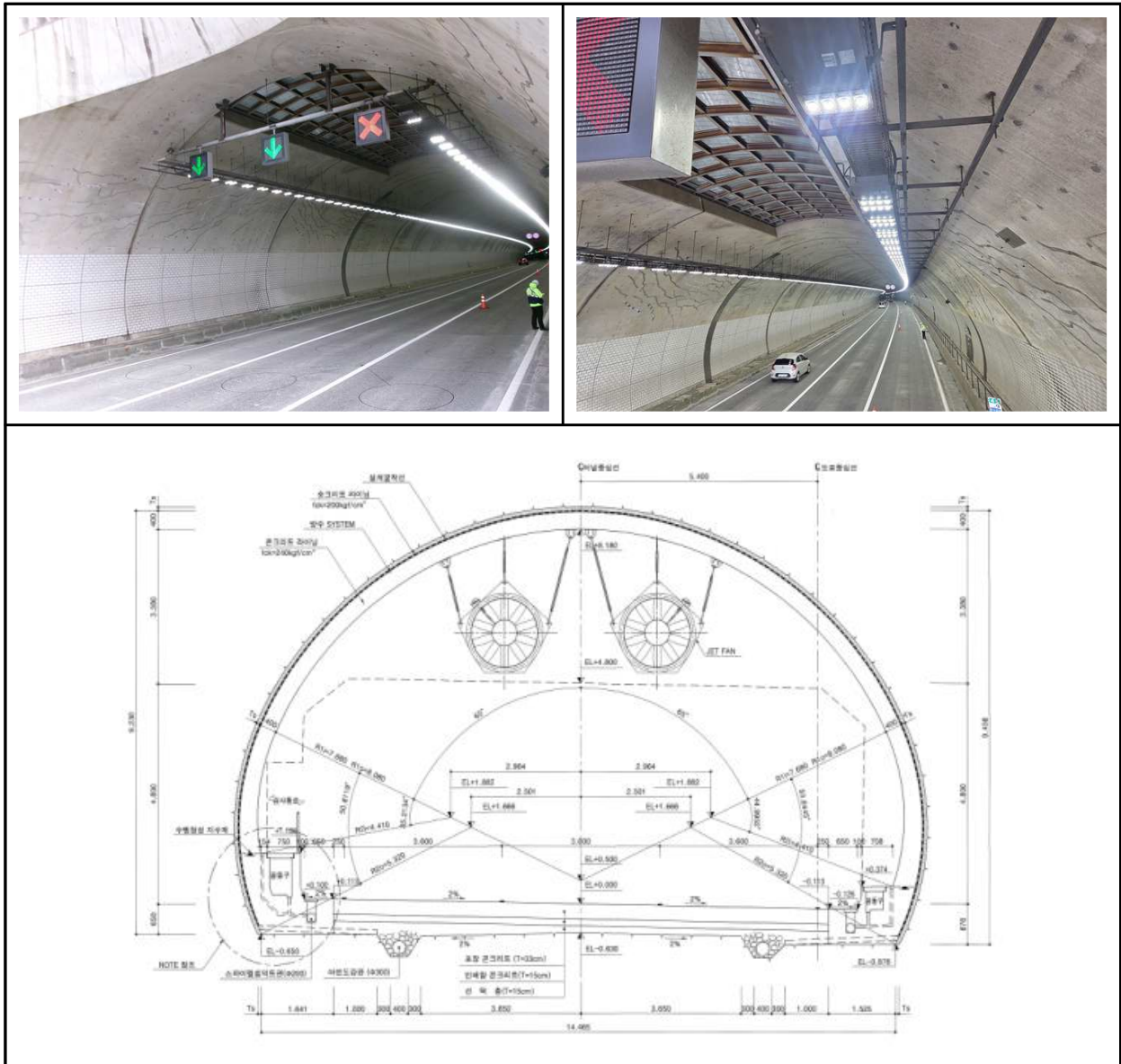
구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
무근구간	Sh32	S87	6.5	765.5	철근구간	Sh47	S130	8.5	1150.0
		S88	9.0	774.5		Sh48	S131	6.0	1156.0
	Sh33	S89	9.0	783.5			S132	9.0	1165.0
		S90	9.5	793.0	무근구간	Sh49	S133	8.0	1173.0
		S91	8.5	801.5			S134	9.5	1182.5
	Sh34	S92	9.0	810.5			S135	9.0	1191.5
		S93	9.5	820.0		Sh50	S136	9.5	1201.0
		S94	8.5	828.5			S137	9.5	1210.5
	Sh35	S95	9.5	838.0			S138	9.0	1219.5
		S96	9.0	847.0		Sh51	S139	8.5	1228.0
		S97	9.0	856.0			S140	9.5	1237.5
	Sh36	S98	9.5	865.5			S141	9.0	1246.5
		S99	9.0	874.5		Sh52	S142	9.0	1255.5
		S100	8.5	883.0			S143	9.0	1264.5
	Sh37	S101	9.5	892.5			S144	9.0	1273.5
		S102	9.0	901.5		Sh53	S145	8.5	1282.0
		S103	9.0	910.5			S146	9.5	1291.5
	Sh38	S104	9.0	919.5			S147	9.0	1300.5
		S105	8.5	928.0	철근구간	Sh54	S148	9.0	1309.5
		S106	9.0	937.0			S149	9.0	1318.5
	Sh39	S107	9.5	946.5			S150	9.0	1327.5
		S108	9.5	956.0		Sh55	S151	9.0	1336.5
		S109	8.5	964.5			S152	9.0	1345.5
	Sh40	S110	9.0	973.5			S153	9.0	1354.5
		S111	9.0	982.5		Sh56	S154	9.0	1363.5
		S112	9.5	992.0			S155	9.0	1372.5
	Sh41	S113	9.0	1001.0			S156	9.0	1381.5
		S114	9.0	1010.0		Sh57	S157	9.5	1391.0
		S115	9.0	1019.0			S158	9.0	1400.0
	Sh42	S116	9.0	1028.0			S159	9.5	1409.5
		S117	9.0	1037.0	무근구간	Sh58	S160	8.5	1418.0
		S118	9.0	1046.0			S161	9.5	1427.5
	Sh43	S119	9.0	1055.0			S162	8.5	1436.0
		S120	9.5	1064.5		Sh59	S163	9.0	1445.0
		S121	9.0	1073.5			S164	7.0	1452.0
	Sh44	S122	9.0	1082.5			S165	7.0	1459.0
		S123	9.0	1091.5	철근구간	Sh60	S166	6.0	1465.0
		S124	9.0	1100.5			S167	9.0	1474.0
철근구간	Sh45	S125	9.0	1109.5		Sh61	S168	8.5	1482.5
무근구간	Sh46	S126	9.0	1118.5			S169	8.5	1491.0
		S127	7.5	1126.0			S170	9.0	1500.0
철근구간	Sh47	S128	9.0	1135.0		Sh62	S171	8.0	1508.0
		S129	6.5	1141.5	—	—	—	—	—

5.3.2 외관조사 결과

가. 기본시설물(라이닝, 갱문)

1) 천장부

본 터널의 라이닝 두께는 무근구간 350mm, 철근구간 400mm이며, 천장부 외관조사시 고소차를 이용한 근접조사를 실시하였다. 천장부 점검시 콘크리트 균열 및 누수여부, 박리, 박락, 철근노출, 배부름 및 변형, 도장손상 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.1】 천장부 전경

(1) 조사결과

- 천장부에 대한 현장조사 결과, 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 박락, 철근노출, 마감불량 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.2】 천장부 손상현황

구분	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만) (m/개소)		균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상) (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		박락 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)		마감불량 (㎡/개소)	
Sh1	29.20	14	2.00	2	39.75	3	0.06	1	-	-	-	-
Sh2	19.00	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh3	1.20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh4	2.50	1	-	-	-	-	0.15	1	-	-	-	-
Sh5	18.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh6	1.20	1	-	-	-	-	-	-	0.01	1	-	-
Sh7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh10	1.20	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh11	14.70	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh12	27.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh13	9.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh14	21.00	3	-	-	-	-	-	-	0.02	1	-	-
Sh15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh17	19.00	3	5.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh18	22.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh19	11.60	4	4.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh20	14.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh21	15.60	7	-	-	2.25	1	-	-	0.13	5	-	-
Sh22	7.00	2	1.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh23	-	-	3.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh25	4.80	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh26	18.00	2	-	-	-	-	0.03	1	0.02	1	-	-
Sh27	9.50	3	-	-	-	-	-	-	0.02	2	-	-
Sh28	9.00	1	8.00	1	-	-	0.02	1	0.02	1	-	-
Sh29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh31	5.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh32	9.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh33	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh34	7.00	2	-	-	4.00	1	-	-	-	-	0.02	1

【표 5.3.2】 천장부 손상현황(계속)

구분	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만) (m/개소)		균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상) (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		박락 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)		마감불량 (㎡/개소)	
Sh35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh36	18.00	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh37	9.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh38	20.50	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh39	18.00	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh40	—	—	18.00	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh41	—	—	9.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh46	1.50	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh47	—	—	—	—	—	—	—	—	0.14	3	—	—
Sh48	5.50	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh51	10.20	2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05	1
Sh52	—	—	18.00	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh53	1.50	1	9.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh54	—	—	9.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh56	1.50	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh57	—	—	27.00	3	—	—	0.08	1	—	—	—	—
Sh58	—	—	18.00	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh59	1.50	1	9.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh61	9.00	6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh62	4.40	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	396.10	108	140.30	20	46.00	5	0.44	6	0.36	14	0.07	2

			
현 황	■ S02 천장부 균열(0.3mm미만)	현 황	■ S03 천장부 박락
원 인	■ 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 거푸집 조기탈형, 신축작용 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S03 천장부 망상균열	현 황	■ S16 천장부 철근노출
원 인	■ 거푸집 조기탈거, 신축작용 등	원 인	■ 다짐불량, 피복두께 부족 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S35 천장부 보수부 균열(0.3mm미만)	현 황	■ S48 천장부 균열(0.3mm이상)
원 인	■ 보수재 열화, 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 온도변화, 건조수축 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 주입보수

【사진 5.3.2】 천장부 손상현황

			
현 황	■ S71 천장부 철근노출	현 황	■ S93 천장부 망상균열
원 인	■ 다짐불량, 피복두께 부족 등	원 인	■ 거푸집 조기탈거, 신축작용 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S140 천장부 마감불량	현 황	■ S150 천장부 보수부 균열(0.3mm이상)
원 인	■ 다짐불량, 거푸집 조기탈형 등	원 인	■ 온도변화, 건조수축 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 주입보수
			
현 황	■ S161 천장부 보수부 균열(0.3mm이상)	현 황	■ S164 천장부 박락
원 인	■ 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 거푸집 조기탈형, 신축작용 등
대 책	■ 주입보수	대 책	■ 단면보수

【사진 5.3.2】 천장부 손상현황(계속)

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 손상인 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 박락, 철근노출, 마감불량 등의 손상이 확인되었고, 금회 점검에서 신규 손상으로 보수부 재균열(0.3mm미만) 등의 손상이 추가로 조사되었다.

【표 5.3.3】 천장부 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
천장부	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	387.10	107	396.10	1.8	▲ 9.00	신규손상
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	140.30	20	140.30	20	— —	변동없음
	망상균열	m ²	46.00	5	46.00	5	— —	변동없음
	콘크리트 박락	m ²	0.44	6	0.44	6	— —	변동없음
	철근노출	m ²	0.36	14	0.36	14	— —	변동없음
	마감불량	m ²	0.07	2	0.07	2	— —	변동없음

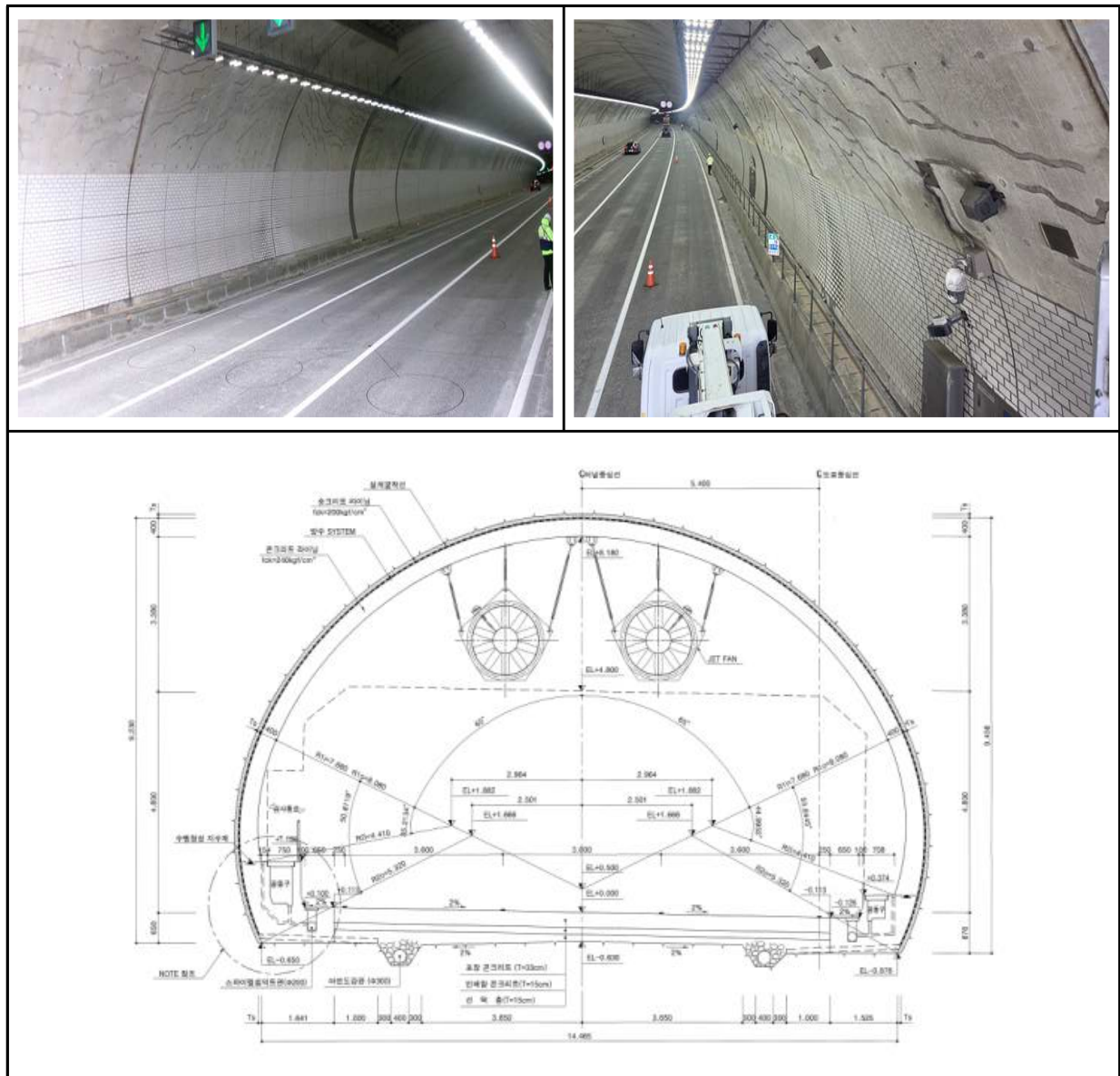
(3) 검토의견

- 천장부에서 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열의 경우 라이닝 콘크리트의 거푸집 조기탈거, 건조수축, 보수미흡 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 콘크리트 박락, 마감불량의 경우 거푸집 조기탈거, 다짐불량, 온도변화에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 안전성에 영향을 미치는 손상은 아닌 것으로 판단되며, 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 적절한 조치를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 철근노출의 경우 피복부족, 다짐불량, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 안전성에 미치는 영향은 미미하나 손상의 진전, 부식 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수(방청) 등의 적절한 조치를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

2) 측벽부

본 터널의 라이닝 두께는 무근구간 350mm, 철근구간 400mm이며, 측벽부는 미관 및 조명효과를 증대시켜 시거환경 확보와 차량 운전자의 사고 예방을 목적으로 타일마감으로 시공되었고, 교통통제 후 도보를 이용한 조사를 실시하였다.

점검시 콘크리트 균열 및 누수여부, 박리, 박락, 배부름 및 변형, 타일손상 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.3】 측벽부 전경

(1) 조사결과

- 측벽부에 대한 현장조사 결과, 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 파손, 타일탈락, 타일파손 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.4】측벽부 손상현황

구분	균열(0.3mm미만) (m/개소)		균열(0.3mm이상) (m/개소)		파손 (m ² /개소)		타일탈락, 타일파손 (m ² /개소)	
Sh1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh2	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh3	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh4	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh5	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh6	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh7	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh8	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh9	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh10	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh11	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh12	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh13	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh14	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh15	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh16	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh17	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh18	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh19	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh20	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh21	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh22	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh23	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh24	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh25	-	-	-	-	-	-	1.00	1
Sh26	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh27	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh28	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh29	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh30	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh31	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh32	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh33	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh34	-	-	-	-	-	-	2.00	2

【표 5.3.4】측벽부 손상현황(계속)

구분	균열(0.3mm미만) (m/개소)		균열(0.3mm이상) (m/개소)		파손 (㎡/개소)		타일탈락, 타일파손 (㎡/개소)	
Sh35	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh36	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh37	—	—	—	—	—	—	1.00	1
Sh38	—	—	—	—	—	—	14.00	14
Sh39	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh40	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh41	—	—	—	—	—	—	4.00	4
Sh42	—	—	0.50	1	—	—	—	—
Sh43	—	—	—	—	—	—	1.00	1
Sh44	—	—	—	—	—	—	1.00	1
Sh45	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh46	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh47	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh48	—	—	—	—	—	—	7.00	7
Sh49	—	—	—	—	—	—	8.00	8
Sh50	—	—	—	—	—	—	15.00	15
Sh51	—	—	—	—	—	—	10.00	10
Sh52	—	—	—	—	—	—	42.00	42
Sh53	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh54	—	—	—	—	—	—	1.00	1
Sh55	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh56	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh57	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh58	—	—	—	—	—	—	8.00	8
Sh59	—	—	—	—	0.02	2	—	—
Sh60	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh61	2.40	2	—	—	—	—	—	—
Sh62	—	—	—	—	—	—	—	—
합계	2.40	2	0.50	1	0.02	2	115.00	115

			
현 황	■ S106 측벽부 타일 탈락	현 황	■ S113 측벽부 타일 탈락
원 인	■ 장기공용, 부착력 저하 등	원 인	■ 장기공용, 부착력 저하 등
대 책	■ 재설치	대 책	■ 재설치
			
현 황	■ S132 측벽부 타일 탈락	현 황	■ S150 측벽부 타일 파손
원 인	■ 장기공용, 부착력 저하 등	원 인	■ 외부충격 등
대 책	■ 재설치	대 책	■ 재설치
			
현 황	■ S164 측벽부 파손	현 황	■ S168 측벽부 균열(0.3mm미만)
원 인	■ 온도변화, 시공미흡 등	원 인	■ 온도변화, 건조수축 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 표면처리

【사진 5.3.4】 측벽부 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 손상인 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 파손, 타일탈락, 타일파손 등의 손상이 확인되었으며, 금회 점검에서 신규 손상으로 타일탈락 등의 손상이 추가로 조사되었다.

【표 5.3.5】측벽부 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감		비고
			물량	개소	물량	개소			
측벽부	균열(0.3mm미만)	m	2.40	2	2.40	2	—	—	변동없음
	균열(0.3mm이상)	m	0.50	1	0.50	1	—	—	변동없음
	파손	m ²	0.02	2	0.02	2	—	—	변동없음
	타일파손 및 탈락	EA	108.00	108	115.00	115	▲	7.00	신규손상

(3) 검토의견

- 측벽부에서 조사된 균열(0.3mm미만, 이상)은 라이닝 조인트부의 하단부, 타일 상단부 일부에 발생한 손상으로, 콘크리트의 계절변화에 따른 온도변화 및 건조수축 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리, 주입보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 파손의 경우 외부충격 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.
- 타일파손 및 탈락의 경우 시설물의 외부충격, 공용기간 증가, 부착력 저하 등 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 주기적인 점검을 통하여 손상의 추가적인 발생여부를 확인하고 추후 손상물량의 증가시 일괄적으로 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3) 갱문

본 터널의 갱문은 NATM구간 시·종점부 벨마우스 형식으로 시공되어있다. 외관조사시 균열, 파손, 박락 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.5】 갱문 전경

(1) 조사결과

- 갱문에 대한 현장조사 결과, 기존 및 신규손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 5.3.6】 갯문 손상현황

구분	상태양호	
시점부	—	—
종점부	—	—
합계	—	—

			
현 황	■ 시점부 상태현황	현 황	■ 종점부 상태현황
원 인	■ —	원 인	■ —
대 책	■ —	대 책	■ —

【사진 5.3.6】 갯문 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 및 신규손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 5.3.7】 갯문 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		중 · 감	비고
			물량	개소	물량	개소		
갯문	상태양호	—	—	—	—	—	— —	변동없음

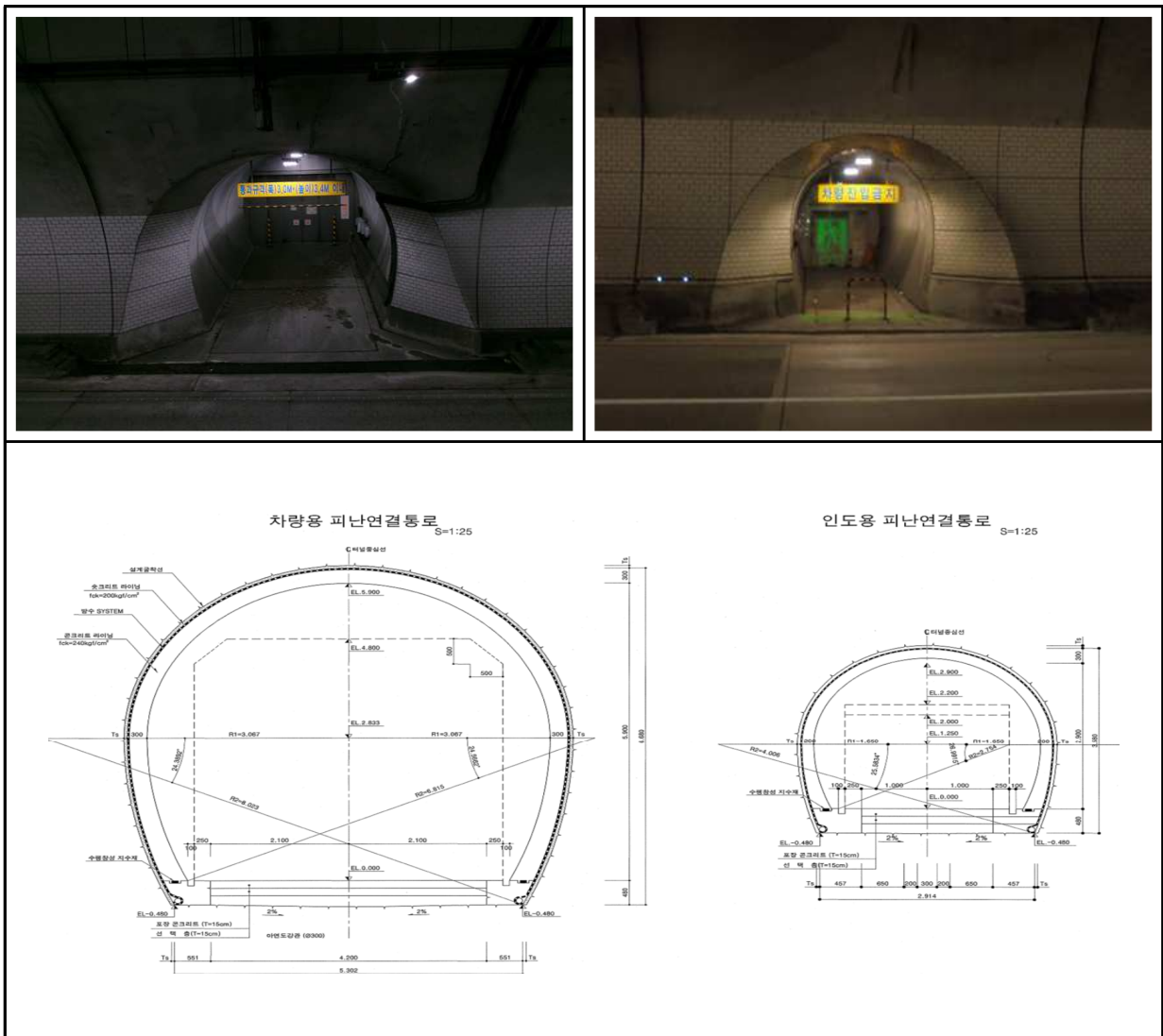
(3) 검토의견

- 갯문에 대한 현장조사 결과, 기존 및 신규손상이 없는 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부를 확인하는 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

나. 부대시설물(피난연락갱)

1) 피난연락갱

터널 내 차량사고 및 화재 등 긴급상황에서 안전을 위해 설치된 피난연락갱은 철근콘크리트 구조로 인도용 1개소, 차량용 2개소가 설치되어 있다. 시공 위치는 S56(차량용), S93(대인용), S130(차량용)으로 부산방향과 울산방향이 연결되어 있으며, 중간에는 차단문이 설치되어 있다. 위치 및 설치형태는 준공도면과 대체로 일치하는 것으로 조사되었다.



【사진 5.3.7】 피난연락갱 전경

(1) 조사결과

- 피난연락갱에 대한 현장조사 결과, 손상이 없는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.

【표 5.3.8】 피난연락갱 손상현황

구분	상태양호
피난연락갱	—
합계	—

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 손상이 발생하지 않은 상태로서 물량의 변화는 없는 것으로 확인되었다.

【표 5.3.9】 피난연락갱 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
피난연락갱	상태양호	—	—	—	—	—	— —	변동없음

(3) 검토의견

- 피난연락갱에 대한 현장조사 결과, 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 실시하는 유지관리가 요구된다.

다. 부속시설물(사면, 공동구, 배수시설, 포장부, 기타부속시설)

1) 사면

본 터널 시·종점부에 있는 사면에 대한 준공도서 검토 결과, 사면에 와이어 매쉬+쑏크리트로 표면보호공을 시공하고, 시점부는 쑏일네일링(Soil-Nailing)공법, 종점부는 Rock bolt로 보강된 것으로 확인되었다.

준공이후 지형의 변화나 사면활동 등의 외형적인 변화는 없는 것으로 관찰되었으며, 터널부 사면의 외관조사시 강우나 폭설 등에 의한 토사층의 침식, 암반면의 탈락 등 절토사면의 파괴징후 및 손상 발생여부에 대해 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.8】 사면 전경

(1) 조사결과

- 사면에 대한 현장조사 결과, 준공이후 지형의 변화나 사면활동 등의 파괴징후는 없는 것으로 조사되었으며, 표면보호공으로 시공된 녹생토의 활착상태는 양호한 것으로 확인되었고, 사면에 시공된 외부 배수로 일부 구간에서 균열 및 보수부 재균열(0.3mm이상) 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.10】 사면 손상현황

구분	외부 배수로 균열, 보수부 재균열(0.3mm이상) (m/개소)	
시점부	11.00	4
종점부	—	—
합계	11.00	4

			
현 황	■ 시점부 갭문 배수로 균열	현 황	■ 시점부 갭문 배수로 균열
원 인	■ 건조수축, 온도변화 등	원 인	■ 건조수축, 온도변화 등
대 책	■ 주입보수	대 책	■ 주입보수
			
현 황	■ 시점부 상태현황	현 황	■ 시점부 상태현황
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -
			
현 황	■ 종점부 상태현황	현 황	■ 종점부 상태현황
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -

【사진 5.3.9】 사면 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 터널 시·중점부 주변 사면은 기존 손상인 외부배수로 균열(0.3mm이상), 재균열(0.3mm이상) 손상의 확인되었으며, 금회 점검에서 신규 손상은 없는 것으로 조사되었고, 기 손상부에 대하여 손상의 진전도 없는 것으로 확인되었다.

【표 5.3.11】 사면 기 점검 결과 비교

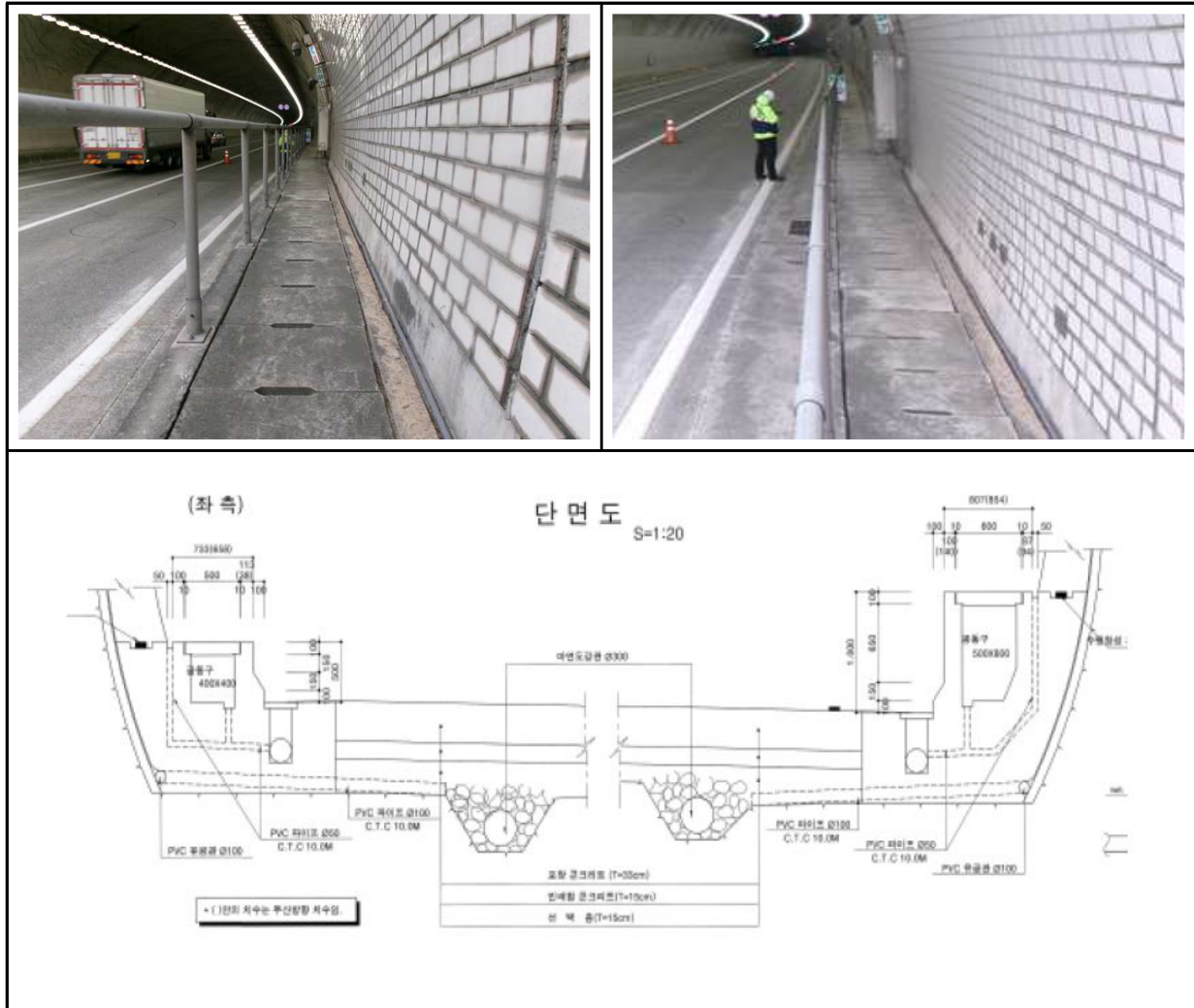
구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
사면	외부배수로 균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	11.00	4	11.00	4	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 터널부 사면은 준공이후 지형의 변화나 사면활동 등의 외형적인 변화는 없는 것으로 관찰되었고, 녹생도 활착이 전반적으로 양호한 것으로 조사되었다. 또한, 사면의 유실 및 슬라이딩 징후(인장균열)는 확인되지 않았으나, 강우, 폭우, 해빙기 등이 발생하는 시기에는 주기적인 관찰을 실시하는 유지관리가 필요하다고 판단된다.
- 조사된 외부배수로 균열 및 재균열(0.3mm이상)의 경우 사면 배수로측에 발생한 손상으로 시공초기 콘크리트 경화시 건조수축의 영향으로 생긴 표면손상으로 판단되며, 부재의 내구성 확보 및 원활한 배수기능을 위한 보수가 필요하다.

2) 공동구

본 터널의 좌·우벽체 하단부에 위치한 공동구는 기계 및 전기설비 등에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 좌측(400mm×400mm), 우측(500mm×800mm) 크기로 시공되어있다. 현장조사시 공동구 덮개 파손, 본체 콘크리트 파손 등에 주안점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.10】 공동구 전경

(1) 조사결과

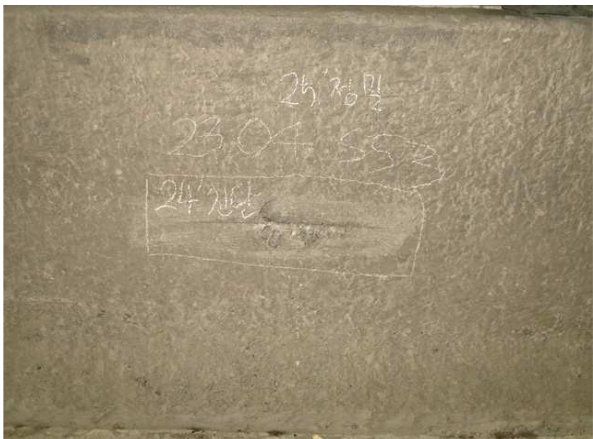
- 공동구에 대한 현장조사 결과, 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 박락, 보수부 들뜸, 철근노출, 굽힘, 파손, 덮개파손, 난간 지주 파손 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.12】 공동구 손상현황

구분	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만) (m/개소)		균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상) (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		박락, 보수부 들뜸, 철근노출 (㎡/개소)		긁힘, 파손 (㎡/개소)		덮개파손 (EA/개소)		난간 지주 파손 (EA/개소)	
Sh1	13.60	16	1.60	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh2	5.00	5	1.50	3	1.20	1	-	-	-	-	5.00	5	-	-
Sh3	5.20	8	2.50	3	-	-	-	-	0.05	1	-	-	-	-
Sh4	4.00	4	-	-	-	-	-	-	0.02	1	1.00	1	-	-
Sh5	5.20	8	5.10	5	-	-	-	-	0.03	1	1.00	1	-	-
Sh6	10.60	14	0.30	1	-	-	-	-	0.12	1	1.00	1	10.00	10
Sh7	11.60	14	0.90	3	-	-	-	-	0.01	1	-	-	-	-
Sh8	2.50	3	0.40	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh9	8.10	10	0.50	2	-	-	-	-	0.12	1	1.00	1	-	-
Sh10	4.00	4	4.70	6	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh11	6.20	7	2.20	2	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh12	8.90	12	2.00	2	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh13	8.10	10	1.20	1	-	-	-	-	0.01	1	1.00	1	-	-
Sh14	11.20	15	-	-	-	-	-	-	0.05	2	-	-	-	-
Sh15	3.50	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh16	4.00	5	0.70	1	-	-	-	-	0.02	1	-	-	-	-
Sh17	6.20	9	3.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh18	10.50	13	-	-	-	-	-	-	0.04	1	1.00	1	-	-
Sh19	11.20	15	-	-	-	-	-	-	0.09	2	-	-	-	-
Sh20	6.00	6	-	-	-	-	-	-	0.27	3	1.00	1	-	-
Sh21	6.20	6	0.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh22	2.00	2	1.20	1	-	-	-	-	0.02	1	-	-	-	-
Sh23	3.00	3	1.20	1	-	-	-	-	0.03	1	-	-	-	-
Sh24	7.00	10	-	-	-	-	-	-	0.09	3	-	-	-	-
Sh25	7.80	10	-	-	-	-	-	-	0.02	1	3.00	3	-	-
Sh26	4.00	4	4.00	4	-	-	-	-	0.02	1	-	-	-	-
Sh27	7.20	9	1.40	2	-	-	-	-	0.08	2	1.00	1	-	-
Sh28	6.50	7	0.80	3	-	-	-	-	0.04	1	6.00	6	-	-
Sh29	8.00	9	1.50	2	-	-	0.75	1	0.04	2	4.00	4	-	-
Sh30	7.00	7	0.50	1	-	-	0.02	1	0.04	1	1.00	1	-	-
Sh31	3.50	4	2.00	2	-	-	-	-	0.02	1	1.00	1	-	-
Sh32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-

【표 5.3.12】 공동구 손상현황(계속)

구분	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만) (m/개소)		균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상) (m/개소)		망상균열 (m²/개소)		박락, 보수부 들뜸, 철근노출 (m²/개소)		긁힘, 파손 (m²/개소)		덮개파손 (EA/개소)		난간 지주 파손 (EA/개소)	
Sh33	-	-	0.60	1	-	-	-	-	-	-	3.00	3	-	-
Sh34	1.00	1	3.00	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh35	0.60	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh37	0.70	1	0.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh40	0.70	2	-	-	-	-	-	-	-	-	5.00	5	-	-
Sh41	-	-	0.60	1	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh42	-	-	-	-	-	-	-	-	0.09	2	-	-	-	-
Sh43	-	-	0.50	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh45	-	-	0.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh46	1.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh47	-	-	2.00	2	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh48	1.30	2	0.30	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh49	1.00	1	-	-	-	-	-	-	0.01	1	1.00	1	-	-
Sh50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh51	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh52	2.00	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh53	1.00	1	-	-	-	-	-	-	0.63	2	3.00	3	-	-
Sh54	1.00	1	-	-	-	-	-	-	0.05	2	4.00	4	-	-
Sh55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh56	1.00	1	-	-	-	-	0.30	1	-	-	1.00	1	-	-
Sh57	1.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sh58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh59	3.00	3	-	-	-	-	-	-	-	-	2.00	2	-	-
Sh60	1.00	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
Sh61	-	-	-	-	-	-	-	-	0.04	1	-	-	-	-
Sh62	1.70	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1.00	1	-	-
합계	225.80	275	47.10	68	1.20	1	1.07	3	2.05	38	66.00	66	10.00	10

			
현 황	■ S01 공동구 균열(0.3mm미만)	현 황	■ S15 공동구 난간 지주 파손
원 인	■ 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 외부충격 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 정비
			
현 황	■ S27 공동구 균열(0.3mm이상)	현 황	■ S46 공동구 덮개 파손
원 인	■ 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 외부충격 등
대 책	■ 주입보수	대 책	■ 정비
			
현 황	■ S53 공동구 파손	현 황	■ S154 공동구 보수부 들뜸
원 인	■ 외부충격 등	원 인	■ 외부충격, 보수미흡 등
대 책	■ 정비	대 책	■ 단면보수

【사진 5.3.11】 공동구 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 손상인 균열 및 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열, 박락, 보수부 들뜸, 철근노출, 굽힘, 파손, 덮개파손 등의 손상이 확인되었고, 금회 점검에서 신규 손상으로 난간 지주 파손 등의 손상이 추가로 조사되었다.

【표 5.3.13】 공동구 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
공동구	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	225.80	275	225.80	275	- -	변동없음
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	47.10	68	47.10	68	- -	변동없음
	망상균열	m ²	1.20	1	1.20	1	- -	변동없음
	박락, 철근노출, 보수부 들뜸	m ²	1.07	3	1.07	3	- -	변동없음
	굽힘, 파손	m ²	2.05	38	2.05	38	- -	변동없음
	덮개 파손	EA	66.00	66	66.00	66	- -	변동없음
	난간 지주 파손	EA	-	-	10.00	10	10.00	신규손상

(3) 검토의견

- 공동구에서 조사된 균열 및 재균열(0.3mm미만), 망상균열의 경우 거푸집 조기탈거, 온도변화 및 건조수축, 보수재 열화 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 공동구 균열 및 재균열(0.3mm이상)의 경우 거푸집 조기탈거, 온도변화 및 건조수축, 미세균열의 진전, 보수재 열화 등의 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 주입보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 공동구 박락, 철근노출, 보수부 들뜸, 파손 등의 경우 외부충격, 지속적인 진동 발생, 온도변화 등에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수, 단면보수(방청) 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 공동구 덮개 파손의 경우 외부충격, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 점검 및 피난자의 안전 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 보수가 필요하다고 판단된다.
- 조사된 난간 지주 파손의 경우 외부충격에 의한 손상으로 점검 및 피난자의 안전 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 보수가 필요하다고 판단된다.

3) 배수시설

본 터널의 좌·우벽체 하단부에 위치한 배수시설에 대한 효율적인 유지관리를 위해 설치된 시설물로 배수구 막힘, 오염 등에 주안점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.12】 배수시설 전경

(1) 조사결과

- 배수시설에 대한 현장조사 결과, 배수시설 측구 균열(0.3mm미만, 이상), 측구 파손, 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.14】 배수시설 손상현황

구분	측구 균열(0.3mm미만) (m/개소)		측구 균열(0.3mm이상) (m/개소)		측구 파손 (㎡/개소)		집수구 토사퇴적 (EA/개소)		그레이팅 부식 (EA/개소)	
Sh1	3.60	6	15.00	25	—	—	—	—	—	—
Sh2	3.90	5	0.80	2	—	—	2	2	2	2
Sh3	3.00	5	1.20	2	—	—	—	—	—	—
Sh4	0.60	1	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh5	1.80	3	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh6	0.30	1	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh7	1.80	3	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh8	—	—	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh9	0.60	1	1.20	2	—	—	—	—	—	—
Sh10	0.80	2	1.80	3	—	—	2	2	2	2
Sh11	1.80	3	0.60	1	—	—	—	—	—	—
Sh12	1.20	2	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh13	1.20	2	2.40	4	—	—	—	—	—	—
Sh14	2.80	6	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh15	0.60	1	0.60	1	—	—	—	—	—	—
Sh16	1.20	2	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh17	2.40	4	1.20	2	—	—	2	2	2	2
Sh18	3.00	5	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh19	0.60	1	1.20	2	0.03	1	2	2	2	2
Sh20	0.60	2	0.60	1	—	—	—	—	—	—
Sh21	—	—	1.20	2	—	—	1	1	2	2
Sh22	0.60	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh23	1.20	2	2.40	4	—	—	—	—	—	—
Sh24	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2
Sh25	1.80	3	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh26	1.20	2	—	—	—	—	2	2	2	2
Sh27	0.50	1	0.30	1	—	—	2	2	2	2
Sh28	1.20	2	1.20	2	—	—	—	—	—	—
Sh29	0.60	1	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh31	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2
Sh32	0.60	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh33	1.40	3	1.20	2	—	—	2	2	2	2
Sh34	—	—	0.80	1	—	—	—	—	—	—

【표 5.3.14】 배수시설 손상현황(계속)

구분	측구 균열(0.3mm미만) (m/개소)		측구 균열(0.3mm이상) (m/개소)		측구 파손 (㎡/개소)		집수구 토사퇴적 (EA/개소)		그레이팅 부식 (EA/개소)	
Sh35	1.20	2	1.80	3	—	—	2	2	2	2
Sh36	2.40	4	0.60	1	—	—	—	—	—	—
Sh37	1.80	3	0.60	1	—	—	2	2	2	2
Sh38	1.20	2	0.60	1	—	—	—	—	—	—
Sh39	—	—	1.20	2	—	—	2	2	2	2
Sh40	—	—	1.20	2	—	—	2	2	2	2
Sh41	1.80	3	0.60	1	0.02	1	—	—	—	—
Sh42	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1
Sh43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh44	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1
Sh45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh47	—	—	—	—	0.09	1	2	2	—	—
Sh48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh49	—	—	—	—	—	—	2	2	2	2
Sh50	0.60	1	—	—	0.18	1	—	—	—	—
Sh51	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1
Sh52	0.60	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh53	—	—	—	—	0.28	2	2	2	1	1
Sh54	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh56	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1
Sh57	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh58	—	—	—	—	—	—	2	2	1	1
Sh59	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
Sh60	0.60	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh61	0.60	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh62	—	—	—	—	—	—	1	1	1	1
합계	51.70	89	43.90	74	0.60	6	57.00	57	50.00	50

			
현 황	■ S32 배수시설 그레이팅 부식	현 황	■ S95 배수시설 균열(0.3mm이상)
원 인	■ 공용기간 증가 등	원 인	■ 온도변화, 건조수축 등
대 책	■ 정비	대 책	■ 주입보수
			
현 황	■ S99 배수시설 균열(0.3mm미만)	현 황	■ S146 배수시설 측구 파손
원 인	■ 온도변화, 건조수축 등	원 인	■ 지속적인 진동 발생, 온도변화 등
대 책	■ 표면처리	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S152 배수시설 그레이팅 부식	현 황	■ S163 배수시설 토사퇴적
원 인	■ 공용기간 증가 등	원 인	■ 공용기간 증가, 비산물 퇴적 등
대 책	■ 정비	대 책	■ 정비

【사진 5.3.13】 배수시설 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 손상인 배수시설 측구 균열(0.3mm미만, 이상), 측구 파손, 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식 등의 손상이 확인 되었으며, 금회 점검에서 신규 손상은 조사되지 않았다.

【표 5.3.15】 배수시설 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
배수시설	측구 균열(0.3mm미만)	m	51.70	89	51.70	89	- -	변동없음
	측구 균열(0.3mm이상)	m	43.90	74	43.90	74	- -	변동없음
	측구 파손	m ²	0.60	6	0.60	6	- -	변동없음
	집수구 토사퇴적	EA	57	57	57	57	- -	변동없음
	그레이팅 부식	EA	50	50	50	50	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 배수시설에서 조사된 측구 균열(0.3mm미만, 이상)의 경우, 배수로 상면에 발생한 손상으로 발생원인은 콘크리트 품질관리미흡, 건조수축, 온도변화에 따른 신축작용 등의 복합적 요인에 의한 손상으로 판단되며, 구조물에 영향을 미치는 손상은 아니나 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진을 위한 표면보수, 주입보수를 실시하는 유지관리가 필요하다.
- 배수시설 측구 파손의 경우 외부충격, 지속적인 진동 발생, 온도변화 등에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진을 위한 단면보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 배수시설 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식의 경우 외부충격, 공용기간 증가 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 부재의 사용성 향상 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 조치가 필요한 것으로 판단된다.

4) 포장부

본 터널의 포장부는 콘크리트 포장으로 시공되어 있으며, 운전자 시선 유도효과 및 소음감소, 운전 편의성 향상, 주행 접지력 향상을 목적으로 종·횡방향 타이닝이 시공된 상태이다. 포장부 외관조사 시, 균열 및 파손, 토사퇴적, 포장패임, 함몰 등에 중점을 두고 외관조사를 실시하였다.



【사진 5.3.14】 포장부 전경

(1) 조사결과

- 포장부에 대한 현장조사 결과, 포장 균열, 파손, 마모, 패임, 재료분리 등의 손상이 조사되었다.

【표 5.3.16】 포장부 손상현황

구분	포장 균열 (m/개소)		포장 파손 (㎡/개소)		포장 마모 (㎡/개소)		패임 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)	
Sh1	27.00	27	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh2	27.00	27	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh3	27.00	27	0.01	1	32.00	4	—	—	—	—
Sh4	23.00	23	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh5	25.00	19	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh6	8.00	8	0.04	1	—	—	—	—	—	—
Sh7	19.00	19	—	—	—	—	0.25	1	—	—
Sh8	—	—	3.52	2	—	—	—	—	—	—
Sh9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh10	2.00	1	0.05	1	—	—	—	—	—	—
Sh11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh13	—	—	0.05	1	—	—	—	—	—	—
Sh14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh18	—	—	0.03	2	—	—	—	—	—	—
Sh19	—	—	0.04	2	—	—	—	—	—	—
Sh20	—	—	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh21	—	—	0.08	1	—	—	—	—	—	—
Sh22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh25	—	—	0.04	1	—	—	—	—	—	—
Sh26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh27	—	—	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh30	2.00	1	0.03	1	—	—	—	—	—	—
Sh31	2.00	1	0.01	1	—	—	—	—	0.30	1
Sh32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh33	—	—	0.04	1	—	—	—	—	—	—
Sh34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

【표 5.3.16】 포장부 손상현황(계속)

구분	포장 균열 (m/개소)		포장 파손 (㎡/개소)		포장 마모 (㎡/개소)		패임 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)	
Sh35	—	—	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh36	—	—	0.16	1	—	—	—	—	—	—
Sh37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh38	—	—	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh44	—	—	0.02	1	—	—	—	—	—	—
Sh45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh47	3.50	1	0.15	1	—	—	—	—	—	—
Sh48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh50	—	—	0.02	2	—	—	—	—	—	—
Sh51	3.50	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh52	3.50	1	0.25	2	—	—	—	—	—	—
Sh53	7.00	2	0.01	1	—	—	—	—	—	—
Sh54	—	—	0.25	1	—	—	—	—	—	—
Sh55	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh56	7.00	2	0.96	13	—	—	—	—	—	—
Sh57	3.00	1	0.30	2	—	—	—	—	—	—
Sh58	7.00	2	0.05	1	—	—	—	—	—	—
Sh59	3.00	1	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Sh61	—	—	0.03	3	—	—	—	—	—	—
Sh62	3.00	1	0.03	1	—	—	—	—	—	—
합계	202.50	165	6.22	49	32.00	4	0.25	1	0.30	1

			
현 황	■ S07 포장 균열	현 황	■ S08 포장 마모
원 인	■ 건조수축, 온도변화, 중차량 반복통행 등	원 인	■ 공용기간 증가, 중차량 반복통행 등
대 책	■ 주입보수	대 책	■ 주의관찰 후 재포장
			
현 황	■ S17 포장 파손	현 황	■ S85 포장 재료분리
원 인	■ 외부충격, 신축작용 등	원 인	■ 다짐불량, 시공미흡 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 단면보수
			
현 황	■ S155 포장 파손	현 황	■ S163 포장 균열
원 인	■ 외부충격, 신축작용 등	원 인	■ 건조수축, 온도변화, 중차량 반복통행 등
대 책	■ 단면보수	대 책	■ 주입보수

【사진 5.3.15】 포장부 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 전회 정밀안전진단과 비교한 결과, 기존 손상인 포장 균열, 파손, 마모, 패임, 재료분리 등의 손상이 확인되었으며, 금회 점검에서 신규 손상은 조사되지 않았다.

【표 5.3.17】 포장부 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
포장부	포장 균열	m	202.50	165	202.50	165	- -	변동없음
	포장 파손	m ²	6.22	49	6.22	49	- -	변동없음
	포장 마모	m ²	32.00	4	32.00	4	- -	변동없음
	포장 패임	m ²	0.25	1	0.25	1	- -	변동없음
	재료분리	m ²	0.30	1	0.30	1	- -	변동없음

(3) 검토의견

- 포장부의 콘크리트 포장에서 조사된 포장 균열의 경우 건조수축 및 온도변화, 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 하중 등 발생한 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 손상의 진전 및 내구성 확보 차원의 적절한 보수가 필요하며, 보수 후에도 차량하중으로 인한 재손상이 우려되므로 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 조사된 포장 파손의 경우 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 충격, 다짐불량 등 발생한 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 손상의 진전 및 내구성 확보를 위해 적절한 보수가 필요하며, 보수 후에도 차량하중으로 인한 재손상이 우려되므로 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 조사된 포장 마모, 재료분리의 경우 공용기간 증가, 중차량의 반복통행 등에 의한 진동 및 하중 등 발생한 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부를 확인하고 손상의 진전시 원활한 주행성을 위한 재포장 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다고 판단된다.

5) 기타부속시설

본 터널의 내부에 천장부 좌·우측으로 조명시설, 환기시설, 신호시설이 설치되어있으며, 측벽부에 소화시설, CCTV, 비상전화 등의 방재시설 등이 설치되어 있다.



【사진 5.3.16】 기타부속시설 전경

(1) 조사결과

- 터널 어깨부 좌, 우측으로 설치되어 있는 조명시설의 점등 상태는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다. 그 외 구간은 차량 운행에 대한 충분한 조도를 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 소화시설 점검결과, 터널내부 차량 화재시 진압을 위한 소화설비는 측벽부에 설치되어 있으며, 내부에 분말소화기 2조가 비치되어 것으로 조사되었다.

【표 5.3.18】 기타부속시설 손상현황

구분	상태양호	
기타 부속시설	—	—
합계	—	—

			
현 황	■ 신호시설 상태현황	현 황	■ 조명시설 상태현황
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -
			
현 황	■ 소화기 상태현황	현 황	■ 환기시설 상태현황
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -
			
현 황	■ CCTV 상태현황	현 황	■ 비상구 표시등 상태현황
원 인	■ -	원 인	■ -
대 책	■ -	대 책	■ -

【사진 5.3.17】 기타부속시설 손상현황

(2) 기 점검 결과 비교

- 23년 정밀안전점검과 비교한 결과, 기타 부속시설은 전반적으로 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 5.3.19】 기타부속시설 기 점검 결과 비교

구분	손상 내용	단 위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
기타 부속시설	상태양호	—	—	—	—	—	— —	변동없음

(3) 검토의견

- 기타 부속시설에 대한 현장조사 결과, 조사된 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

라. 공중이 이용하는 부위

공중이 이용하는 부위는 추락방지시설, 도로부 포장 및 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 있다.

1) 추락방지시설

- 공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설은 미설치된 상태이다.

2) 도로포장

- 공중이 이용하는 부위 중 도로포장은 “현장조사 결과 - 포장부, 공동구”에 기입된 사항으로 대체하였다.

3) 도로부 신축이음부

- 공중이 이용하는 부위 중 도로부 신축이음부는 미설치된 상태이다.

4) 환기구 등의 덮개

- 공중이 이용하는 부위 중 환기구 등의 덮개는 “현장조사 결과 - 공동구”, “현장조사 결과 - 배수시설”에 기입된 사항으로 대체하였다.

마. 터널의 공중이용시설 유해·위험요인(10대) 위험요소 점검결과

1) 개요

- 공중이용시설의 중대시민재해 유발 가능성이 높은 유해·위험요소를 선정하여 집중관리 함으로써 국민의 안전을 도모한다.

【표 5.3.20】 공중이용시설 10대 위험요소

구분	유해·위험요인	비고
낙하물	① 교각 코핑 콘크리트 탈락 ② 중분대 하면 콘크리트 낙하 ③ 배수관 낙하사고 ④ 고드름 낙하사고	
화재	⑤ 주유소 및 충전소 화재사고	
교량접속부 파손	⑥ 신축이음장치 솟음(Blow-up)	
포장불량	⑦ 교면포장 부분보수부 파손	
배수시설 기능저하	⑧ 교량 집수구 막힘(미끄럼·결빙)	
사면붕괴	⑨ 절토사면·옹벽 표면 손상	
콘크리트 열화	⑩ 터널 배수구 뚜껑파손	

2) 외관조사 결과

- 본 과업대상 문수터널(부산)의 중대시민재해 유발 위험요소는 낙하물(고드름 낙하사고), 콘크리트 열화(터널 배수구 뚜껑파손) 등이 해당된다.
- 공중이용시설 10대 위험요소 중 터널에 해당하는 항목에 대한 점검결과, 집수구에 토사퇴적, 균열 및 파손 등의 손상이 확인되었으나 재해 유발의 정도는 아닌 것으로 확인되었고, 라이닝 부의 누수는 없는 상태로 중대시민재해 사고가 우려되는 이상징후는 발견되지 않아 중대한 결함은 없는 것으로 조사되었다.
- 점검일 현재는 중대결함이 없는 비교적 양호한 상태이지만 향후, 소형결함으로도 재해 발생 가능성이 있으므로 유해·위험요인이 있는 취약시설물에 대한 중점관리 및 예방 차원의 보수·보강 등의 유지관리가 필요하다.

구분	유해·위험요인	점검결과	내용	보수방안	비고
1	고드름 낙하사고	☐ 유, ☒ 무	이상없음	—	
2	터널 배수구 뚜껑파손	☐ 유, ☒ 무	이상없음	—	

	
시점부 상태현황	종점부 상태현황
	
라이닝 상태현황	라이닝 상태현황
	
배수구 상태현황	배수시설 상태현황

【사진 5.3.18】 터널의 공중이용시설 10대 위험요소 손상현황

5.3.3 현장조사 결과요약

가. 외관조사 총괄표

【표 5.3.21】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
천장부	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	396.10	108	
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	140.30	20	
	망상균열	m ²	46.00	5	
	콘크리트 박락	m ²	0.44	6	
	철근노출	m ²	0.36	14	
	마감불량	m ²	0.07	2	
측벽부	균열(0.3mm미만)	m	2.40	2	
	균열(0.3mm이상)	m	0.50	1	
	파손	m ²	0.02	2	
	타일 파손 및 탈락	EA	115.00	115	
갯문	상태양호	—	—	—	
사면	외부배수로 균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m ²	11.00	4	
공동구	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	225.80	275	
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	47.10	68	
	망상균열	m ²	1.20	1	
	박락, 철근노출 보수부 들뜸	m ²	1.07	3	
	긁힘, 파손	m ²	2.05	38	
	덮개 파손	EA	66.00	66	
	난간 지주 파손	EA	10.00	10	
배수시설	측구 균열(0.3mm미만)	m	51.70	89	
	측구 균열(0.3mm이상)	m	43.90	74	
	측구 파손	m ²	0.60	6	
	집수구 토사퇴적	EA	57.00	57	
	그레이팅 부식	EA	50.00	50	
포장부	포장 균열	m	202.50	165	
	포장 파손	m ²	6.22	49	
	포장 마모	m ²	32.00	4	
	포장 패임	m ²	0.25	1	
	재료분리	m ²	0.30	1	
기타부속시설	상태양호	—	—	—	

5.3.4 전회차 손상물량 비교

【표 5.3.22】 손상물량 비교표

구분	손상 내용	단위	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		증·감	비고
			물량	개소	물량	개소		
천장부	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	387.10	107	396.10	108	▲ 9.00	신규손상
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	140.30	20	140.30	20	— —	변동없음
	망상균열	m ²	46.00	5	46.00	5	— —	변동없음
	콘크리트 박락	m ²	0.44	6	0.44	6	— —	변동없음
	철근노출	m ²	0.36	14	0.36	14	— —	변동없음
	마감불량	m ²	0.07	2	0.07	2	— —	변동없음
측벽부	균열(0.3mm미만)	m	2.40	2	2.40	2	— —	변동없음
	균열(0.3mm이상)	m	0.50	1	0.50	1	— —	변동없음
	파손	m ²	0.02	2	0.02	2	— —	변동없음
	타일 파손 및 탈락	EA	108.00	108	115.00	115	▲ 7.00	신규손상
갯문	상태양호	—	—	—	—	—	— —	변동없음
사면	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	11.00	4	11.00	4	— —	변동없음
공동구	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	225.80	275	225.80	275	— —	변동없음
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	47.10	68	47.10	68	— —	변동없음
	망상균열	m ²	1.20	1	1.20	1	— —	변동없음
	박락, 철근노출 보수부 들뜸	m ²	1.07	3	1.07	3	— —	변동없음
	긁힘, 파손	m ²	2.05	38	2.05	38	— —	변동없음
	덮개 파손	EA	66.00	66	66.00	66	— —	변동없음
	난간 지주 파손	EA	—	—	10.00	10	10.00	신규손상
배수 시설	측구 균열(0.3mm미만)	m	51.70	89	51.70	89	— —	변동없음
	측구 균열(0.3mm이상)	m	43.90	74	43.90	74	— —	변동없음
	측구 파손	m ²	0.60	6	0.60	6	— —	변동없음
	집수구 토사퇴적	EA	57	57	57.00	57	— —	변동없음
	그레이팅 부식	EA	50	50	50.00	50	— —	변동없음
포장부	포장 균열	m	202.50	165	202.50	165	— —	변동없음
	포장 파손	m ²	6.22	49	6.22	49	— —	변동없음
	포장 마모	m ²	32.00	4	32.00	4	— —	변동없음
	포장 패임	m ²	0.25	1	0.25	1	— —	변동없음
	재료분리	m ²	0.30	1	0.30	1	— —	변동없음
부속시설	상태양호	—	—	—	—	—	— —	변동없음

5.4 콘크리트 내구성 조사

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

5.4.1 조사 현황 및 위치

가. 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 비파괴시험을 실시하였으며, 그 기준수량은 다음과 같다.

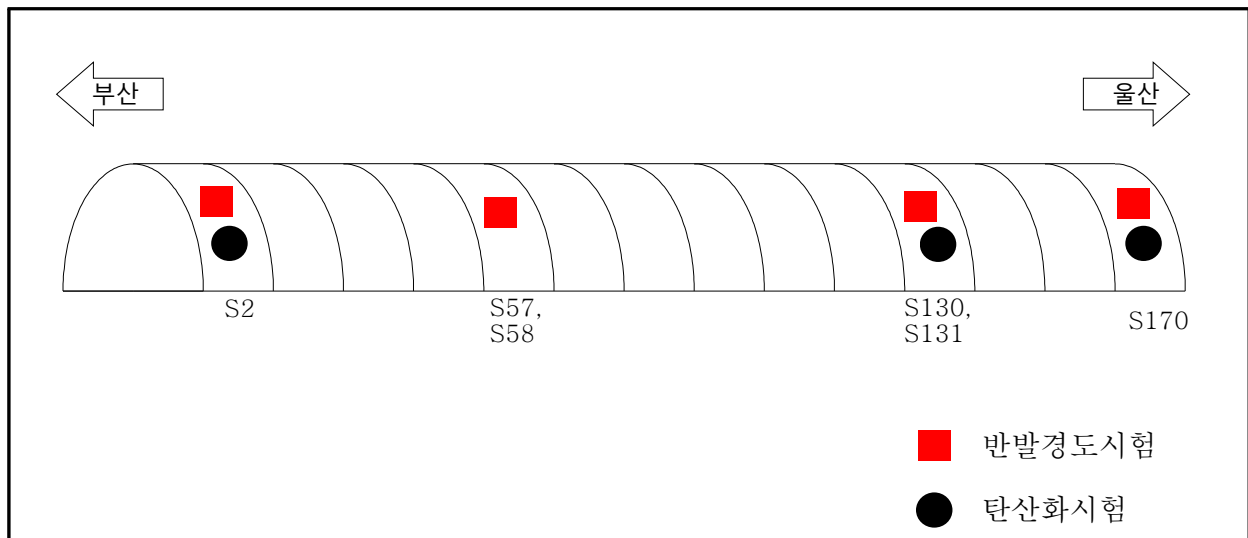
【표 5.4.1】 콘크리트 비파괴시험 현황

구분	기준수량		실행수량	비고
측점분할	5~20m 간격			
반발경도 시험	총수량 = (총연장 ÷ 300m)개소	6개소	6개소	
탄산화깊이 측정	총연장 1,000m 미만 = 2개소 총연장 1,000m 이상 = 최초 2개소 + 1,000m당 1개소 추가	3개소	3개소	

나. 콘크리트 내구성시험 위치 선정사유

콘크리트 강도 등 시공정밀도 검증이 필요한 재료시험은 내구성 시험의 정확한 값을 얻기 위하여 접근성의 용이함을 고려하고 콘크리트의 요철 및 곰보자국 등이 있는 곳을 지양해서 적합한 위치를 선정하였으며 건전부 및 비건전부에 내구성 시험을 실시하였다. 따라서 본 터널의 내구성 시험은 고소작업차를 이용하여 라이닝 등의 주요부재를 중심으로 우선적으로 선정하여 시험위치를 정하였다.

다. 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 5.4.1】 콘크리트 내구성조사 위치도

5.4.2 시험결과 및 분석

가. 콘크리트 강도시험

콘크리트 비파괴강도시험은 콘크리트 표면이 양호한 부위를 선정하고, 철근탐사기를 이용하여 철근의 위치를 파악한 후, 표면 요철, 부착물, 이물질 등을 제거하고, 슈미트 해머를 사용하여 반발경도를 측정하였다. 측정결과는 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 비파괴강도 추정에 이용하였다.



【사진 5.4.1】 강도시험 현장사진

1) 반발경도 시험

(1) 반발경도 시험결과

【표 5.4.2】 콘크리트 라이닝 반발경도 시험결과

시험위치			반발경도법(MPa)			재령계수	설계기준 강도 (MPa)	비고
			반발경도 (R_o)	일본재료학회	일본건축학회			
라 이 닝	S2	라이닝	43.4	23.4	25.7	0.63	24.0	건전부
	S57	라이닝	47.1	26.3	27.4			건전부
	S58	라이닝	47.0	26.3	27.4			비건전부
	S130	라이닝	42.8	22.9	25.5			건전부
	S131	라이닝	46.6	25.9	27.2			건전부
	S170	라이닝	44.3	24.1	26.1			건전부
평 균			—	24.8	26.6	—	—	
표준편차			—	1.53	0.88	—	—	
변동계수			—	0.062	0.033	—	—	
최대값			—	26.3	27.4	—	—	
최소값			—	22.9	25.5	—	—	

【표 5.4.3】 콘크리트 라이닝 반발경도 추정강도

시험위치	압축강도(MPa) 추정		설계기준강도 (MPa)	평균 추정강도 (MPa)	강도비교 (%)	비고
	일본건축학회					
라이닝	25.5	~ 27.4	24.0	26.6	110.8	

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 25.5~27.4MPa로 측정되었으며, 금회 실시한 비파괴강도는 모두 설계기준 압축강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도저하가 없는 것으로 판단된다. 따라서, 금회 시험을 실시한 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.

(2) 기 점검결과와의 비교

【표 5.4.4】 기 점검결과와의 비교

구 분	2024년 정밀안전진단	2025년 정밀안전점검	설계기준강도(MPa)
반발경도법	26.4 ~ 31.7	25.5 ~ 27.4	24.0
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과 측정부위에 따라 다소 차이는 있지만, 설계강도를 100%이상 상회하고 있는 것으로 조사되어 콘크리트의 강도상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.		

(3) 반발경도 시험보고서

【표 5.4.5】 반발경도 시험보고서

반발경도 시험 보고서	
1. 시험조건	
구 분	내 용
시험 일자 및 시간	일자 : 2025. 04. 17 시간 : 09:00 ~ 17:00
시험 위치	시험 성과표의 위치명 및 재료시험 위치도 참조
시험 대상 구조물	문수터널(부산) 라이닝
시험 대상 표본 선정	재료시험 수량에 따라 표본 선정
콘크리트 설계 조건 (강도, MPa)	라이닝 : 24MPa
시험 위치의 표면 상태	균열, 박리 등이 없는 양호한 부위 대상 표면정리(요철제거)
시험시의 온도 및 콘크리트의 재령	14.0 ~ 18.8℃, 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수 상태	기건 상태
2. 시험기기	
구 분	내 용
측정기의 종류	슈미트 해머 NR형
제품번호	28191
시험기기의 교정	한국산업기술시험원 교정(엔빌테스트 : 80±2)
3. 시험 방법	
구 분	내 용
반발경도 타격점 간격 및 수량	4 × 5, 20회 타격(30mm 간격)
반발경도 측정기의 타격방향	시험 성과표 참조
반발경도 유효값 기준	측정 평균치의 ±20% 범위 내
시험 부위별 반발경도의 평균값	시험 성과표 참조
버린 반발경도의 값 및 위치	시험 성과표 참조
4. 시험결과	
시험 성과표 참조	

나. 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 드릴링을 통한 천공 후 페놀프탈레인 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화 깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 그 깊이를 측정하였다. 피복두께는 철근탐사기를 이용하여 피복두께를 확인 후, 설계피복과 비교하여 작은 값으로 선정하였다.



【사진 5.4.2】 탄산화 깊이 시험 현장사진

1) 탄산화 깊이 측정결과

【표 5.4.6】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치	탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 등급	탄산화 속도계수 (A)	잔존수명 (년)	경과연수	비 고
S2 라이닝	4.5	69.0	64.5	a	1.09	100년 이상	17	
S130 라이닝	3.5	105.0	101.5	a	0.85	100년 이상	17	
S170 라이닝	5.0	89.0	84.0	a	1.21	100년 이상	17	

- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화깊이는 3.5~5.0mm로 측정되었으며, 잔여깊이가 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 5.4.7】 탄산화 깊이 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(mm)	잔여깊이(mm)	비고
라이닝	3.5 ~ 5.0	64.5 ~ 140.5	

2) 기 점검결과와의 비교

【표 5.4.8】 기 점검결과와의 비교

구 분	2024년 정밀안전진단		2025년 정밀안전점검		비 고
	잔여깊이(mm)	평가결과	잔여깊이(mm)	평가결과	
라이닝	46.0 ~ 86.5	a	64.5 ~ 101.5	a	
검토의견	■ 기존 및 금회 측정값 비교 분석 결과, 실측피복두께를 적용하여 측정위치에 따른 차이는 다소 있지만, 잔여깊이가 30mm 이상으로 조사되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 ‘a’ 등급으로 평가되었다. 따라서 탄산화에 진행에 따른 구조물의 내구성에 미치는 영향은 미미할 것으로 판단된다.				

3) 시험보고서

【표 5.4.9】 탄산화 깊이 시험 보고서

구 분	내 용
시험일자	2025년 04월 17일
시험시간	09:00 ~ 17:00
시험 영역의 위치	콘크리트 라이닝
골재 종류	보통골재(추정)
측정면의 종류	햄머드릴을 이용해 뚫어낸 면
시약	페놀프탈레인 1% 용액
측정 기구	햄머드릴, 버니어 캘리퍼스, 시험지
시약 분무로부터 탄산화 깊이까지의 시간	즉시
측정결과(측정값, 평균값, 최대값 등)	보고서 ‘콘크리트 강도시험’ 참조
연한 적자색 변색 유무	유

5.4.3 콘크리트 내구성 조사 결과요약

【표 5.4.10】금회 점검 내구성 조사 결과요약

시험명	시험부위		시험 결과	검토 의견
비파괴 강도 (MPa)	반발경도 라이닝 (설계기준 : 24MPa)		25.5 ~ 27.4	측정결과, 설계기준강도를 100% 상회하는 것으로 조사됨.
탄산화 깊이 (mm)	라이닝	진행깊이(mm)	3.5 ~ 5.0	실측 피복두께 대비 탄산화 잔여 깊이가 30mm 이상으로 확인되어 탄산화에 의한 부식이 발생할 가능성이 없는 ‘a’ 등급으로 평가됨
		잔여깊이(mm)	64.5 ~ 101.5	

【표 5.4.11】내구성조사 기 점검과의 비교 결과요약

시험명	시험부위	2024년 정밀안전진단	2025년 정밀안전점검	비고
비파괴 강도 (MPa)	라이닝 (설계기준: 24MPa)	26.4 ~ 31.7	25.5 ~ 27.4	측정 위치에 따른 편차로 인하여 정밀한 비교는 어려우나 설계강도를 100% 상회하고 있는 것으로 확인되어 콘크리트의 강도 상태는 양호한 것으로 판단됨
탄산화 깊이 (mm)	라이닝 잔여깊이	46.0 ~ 86.5	64.5 ~ 101.5	측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전차와 비교해서 급격한 진전없이 30mm 이상의 잔여깊이를 확보하여 양호한 상태로 확인되며, 탄산화 진행으로 인한 철근부식의 영향은 없는 것으로 판단됨.

5.5 상태평가

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검·진단 편 -2024. 12.)』의 상태평가 기준에 따라 실시한다. 정밀안전점검의 상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하며, 책임기술자가 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하게 된다.

5.5.1 상태평가 등급산정

가. 구간분할

정밀안전점검을 위한 외관조사, 각종 내구성조사, 시설물의 상태평가 등을 효과적으로 수행하기 위해서는 구조형식별 분류 또는 구간분할 작업은 필수적인 항목이다. 본 시설물은 NATM형식의 터널로 시공되었으며 철근구간과 무근구간, 부가시설물에 대한 상태평가를 진행하였으며, 구조물의 상태평가 등급 산정을 위한 구간분할 현황은 다음과 같다.

【표 5.5.1】 구간현황

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
철근구간	Sh1	S1	9.0	9.0	무근구간	Sh6	S16	9.0	134.0
		S2	8.0	17.0			S17	9.0	143.0
		S3	9.0	26.0		Sh7	S18	8.5	151.5
	Sh2	S4	7.5	33.5			S19	9.0	160.5
		S5	8.0	41.5			S20	9.0	169.5
		S6	7.0	48.5	철근구간	Sh8	S21	9.0	178.5
	Sh3	S7	7.0	55.5	무근구간	Sh9	S22	9.0	187.5
		S8	7.5	63.0			S23	8.5	196.0
		S9	7.5	70.5			S24	9.5	205.5
	Sh4	S10	9.5	80.0		Sh10	S25	9.5	215.0
		S11	9.5	89.5			S26	9.0	224.0
무근구간	Sh5	S12	8.5	98.0			S27	9.5	233.5
		S13	9.0	107.0		Sh11	S28	8.5	242.0
		S14	8.5	115.5			S29	8.5	250.5
	Sh6	S15	9.5	125.0			S30	9.5	260.0

【표 5.5.1】 구간현황(계속)

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)
무근구간	Sh12	S31	9.0	269.0	무근구간	Sh26	S68	9.0	596.0
		S32	9.5	278.5			S69	9.0	605.0
		S33	8.5	287.0			S70	9.0	614.0
	Sh13	S34	9.0	296.0		Sh27	S71	9.5	623.5
		S35	9.5	305.5			S72	8.5	632.0
		S36	9.0	314.5			S73	9.0	641.0
	Sh14	S37	9.5	324.0		Sh28	S74	9.5	650.5
		S38	9.5	333.5			S75	9.0	659.5
		S39	9.0	342.5			S76	9.0	668.5
	Sh15	S40	9.0	351.5		Sh29	S77	9.5	678.0
철근구간	Sh16	S41	9.0	360.5	S78		9.0	687.0	
					S79		9.0	696.0	
무근구간	Sh17	S42	9.0	369.5	철근구간	Sh30	S80	9.0	705.0
		S43	9.0	378.5			S81	9.0	714.0
		S44	8.5	387.0			S82	9.0	723.0
	Sh18	S45	8.5	395.5			Sh31	S83	9.0
		S46	9.5	405.0	S84	9.0		741.0	
		S47	9.0	414.0	S85	9.0		750.0	
	Sh19	S48	9.5	423.5	Sh32	S86	9.0	759.0	
		S49	9.5	433.0		S87	6.5	765.5	
		S50	9.0	442.0		S88	9.0	774.5	
	Sh20	S51	9.5	451.5	Sh33	S89	9.0	783.5	
		S52	6.0	457.5		S90	9.5	793.0	
		S53	9.5	467.0		S91	8.5	801.5	
철근구간	Sh21	S54	9.5	476.5	무근구간	Sh34	S92	9.0	810.5
		S55	5.5	482.0			S93	9.5	820.0
		S56	8.5	490.5			S94	8.5	828.5
	Sh22	S57	5.5	496.0		Sh35	S95	9.5	838.0
S58		9.0	505.0	S96			9.0	847.0	
무근구간	Sh23	S59	9.5	514.5			Sh36	S97	9.0
		S60	9.0	523.5		S98		9.5	865.5
		S61	9.5	533.0		S99		9.0	874.5
	Sh24	S62	8.5	541.5		Sh37	S100	8.5	883.0
		S63	9.0	550.5			S101	9.5	892.5
		S64	9.5	560.0			S102	9.0	901.5
	Sh25	S65	9.0	569.0		Sh38	S103	9.0	910.5
		S66	9.5	578.5	S104		9.0	919.5	
S67		8.5	587.0						

【표 5.5.1】 구간현황(계속)

구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	구분	쉬트 (Sheet)	스판 (Span)	거리 (m)	누적 (m)	
무근구간	Sh38	S105	8.5	928.0	무근구간	Sh51	S139	8.5	1228.0	
		S106	9.0	937.0			S140	9.5	1237.5	
	Sh39	S107	9.5	946.5			Sh52	S141	9.0	1246.5
		S108	9.5	956.0		S142		9.0	1255.5	
		S109	8.5	964.5		S143		9.0	1264.5	
	Sh40	S110	9.0	973.5		Sh53	S144	9.0	1273.5	
		S111	9.0	982.5			S145	8.5	1282.0	
		S112	9.5	992.0			S146	9.5	1291.5	
	Sh41	S113	9.0	1001.0		Sh54	S147	9.0	1300.5	
		S114	9.0	1010.0			S148	9.0	1309.5	
		S115	9.0	1019.0			S149	9.0	1318.5	
	Sh42	S116	9.0	1028.0		철근구간	Sh55	S150	9.0	1327.5
		S117	9.0	1037.0	S151			9.0	1336.5	
		S118	9.0	1046.0	S152			9.0	1345.5	
	Sh43	S119	9.0	1055.0	Sh56		S153	9.0	1354.5	
		S120	9.5	1064.5			S154	9.0	1363.5	
		S121	9.0	1073.5			S155	9.0	1372.5	
	Sh44	S122	9.0	1082.5	Sh57		S156	9.0	1381.5	
		S123	9.0	1091.5			S157	9.5	1391.0	
		S124	9.0	1100.5			S158	9.0	1400.0	
철근구간	Sh45	S125	9.0	1109.5	무근구간		Sh58	S159	9.5	1409.5
무근구간	Sh46	S126	9.0	1118.5				S160	8.5	1418.0
		S127	7.5	1126.0				S161	9.5	1427.5
철근구간	Sh47	S128	9.0	1135.0	Sh59	S162	8.5	1436.0		
		S129	6.5	1141.5		S163	9.0	1445.0		
		S130	8.5	1150.0		Sh60	S164	7.0	1452.0	
	Sh48	S131	6.0	1156.0	S165		7.0	1459.0		
		S132	9.0	1165.0	철근구간	Sh61	S166	6.0	1465.0	
무근구간	Sh49	S133	8.0	1173.0			S167	9.0	1474.0	
		S134	9.5	1182.5			S168	8.5	1482.5	
		S135	9.0	1191.5		Sh62	S169	8.5	1491.0	
	Sh50	S136	9.5	1201.0			S170	9.0	1500.0	
		S137	9.5	1210.5			S171	8.0	1508.0	
		S138	9.0	1219.5			-	-	-	

나. 시설물의 상태등급

1) 철근콘크리트 라이닝 상태평가 등급산정

【표 5.5.2】 철근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	재질열화						결함점수 합계	라이닝 결함지수
				박리	충분리, 박락	백태	재료분리	철근노출	탄산화		
Sh1	b	a	a	a	b	a	a	a	a	5	0.14
Sh2	b	a	a	a	a	a	a	a	—	3	0.08
Sh3	b	a	a	a	a	a	a	a	—	3	0.08
Sh4	b	a	a	a	b	a	a	a	—	3	0.08
Sh8	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0	0.00
Sh16	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0	0.00
Sh21	b	a	a	a	a	a	a	b	a	4	0.11
Sh22	b	a	a	a	a	a	a	a	—	5	0.14
Sh45	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0	0.00
Sh47	a	a	a	a	a	a	a	b	a	1	0.03
Sh48	b	a	a	a	a	a	a	a	—	5	0.14
Sh55	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0	0.00
Sh61	b	a	a	a	a	a	a	a	—	3	0.08
Sh62	b	a	a	a	a	a	a	a	a	3	0.08
산술평균	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.50	0.07

2) 무근콘크리트 라이닝 상태평가 등급산정

【표 5.5.3】 무근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과

Span No.	균열	누수	파손 및 손상	재질열화				결함점수 합계	라이닝 결함지수
				박리	충분리, 박락	백태	재료분리		
Sh5	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh6	b	a	a	a	a	a	a	4	0.15
Sh7	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh9	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh10	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh11	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh12	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh13	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh14	b	a	a	a	a	a	a	4	0.15
Sh15	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00

【표 5.5.3】 무근콘크리트 라이닝 등급 산정 결과(계속)

Span No.	균 열	누 수	파손 및 손상	재 질 열 화				결함점수 합 계	라 이 닝 결함지수
				박 리	충분리, 박락	백 태	재료분리		
Sh17	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh18	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh19	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh20	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh23	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh24	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh25	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh26	b	a	a	a	b	a	a	4	0.15
Sh27	b	a	a	a	a	a	a	4	0.15
Sh28	b	a	a	a	b	a	a	4	0.15
Sh29	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh30	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh31	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh32	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh33	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh34	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh35	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh36	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh37	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh38	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh39	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh40	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh41	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh42	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh43	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh44	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh46	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh49	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh50	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
Sh51	b	a	a	a	a	a	a	3	0.11
Sh52	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh53	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh54	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh56	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh57	b	a	a	a	b	a	a	5	0.19
Sh58	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh59	b	a	a	a	a	a	a	5	0.19
Sh60	a	a	a	a	a	a	a	0	0.00
산술평균	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.83	0.10

3) 주변상태 결함점수 산정

【표 5.5.4】 주변상태 결함점수 산정 결과

터널주변	결함점수 배점		결함점수
배수상태	오염됨		2.00
	배수불량		
지반상태	풍화변질 및 단층파쇄대	영향범위 내	2.00
갱문상태	손상없음		0.00
공동구상태	덮개파손		0.50
	공동구 내부 양호		
특수조건	낙수 및 동결위험 없음		0.00
합 계			4.50

4) 지반상태 결함점수 산정을 위한 지반자료

지반조사 보고서, 지층단면도							비 고																																																																					
■ 터널구간에 분포하는 단층 및 파쇄대 현황 <table> <tr> <th>지 역</th><th>단층</th><th>연장성 (m)</th><th>충화정도</th><th>충진물</th><th>변위(m)</th><th>영향폭(m)</th><th>확인방법</th></tr> <tr> <td rowspan="3">터널서점/중점부</td><td>1</td><td>100~200</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>탐사</td></tr> <tr> <td>2</td><td>200~300</td><td>보통</td><td>단층각력</td><td>약 1</td><td>2~5</td><td>탐사/지표조사</td></tr> <tr> <td>3</td><td>100~200</td><td>보통~심함</td><td>-</td><td>약 0.2</td><td>1~3</td><td>탐사/지표조사</td></tr> <tr> <td rowspan="3">터널중점부</td><td>4</td><td>100~200</td><td>보통</td><td>단층각력, 원토</td><td>약 1</td><td>1~3</td><td>탐사/지표조사</td></tr> <tr> <td>5</td><td>약 100</td><td>보통~심함</td><td>-</td><td>약 0.2</td><td>1~2</td><td>탐사/지표조사</td></tr> <tr> <td>6</td><td>약 100</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>탐사</td></tr> </table> ■ 분석 결과 · 탐사 및 지표조사에 의해 확인된 터널구간의 단층 및 파쇄대는 총 6개가 존재 · 단층 및 파쇄대는 모두 수직의 개공은 75° 이상의 경사각을 가지므로, 영향폭은 1~5m로 추정 · 터널 중점부는 굴착시 지하수의 유입에 예상되므로 그라우팅 작업이 요구됨 · 터널 중점부는 구조대가 서로 교차할 것으로 예상되므로 파쇄가 심할 것으로 판단됨							지 역	단층	연장성 (m)	충화정도	충진물	변위(m)	영향폭(m)	확인방법	터널서점/중점부	1	100~200	-	-	-	-	탐사	2	200~300	보통	단층각력	약 1	2~5	탐사/지표조사	3	100~200	보통~심함	-	약 0.2	1~3	탐사/지표조사	터널중점부	4	100~200	보통	단층각력, 원토	약 1	1~3	탐사/지표조사	5	약 100	보통~심함	-	약 0.2	1~2	탐사/지표조사	6	약 100	-	-	-	-	탐사	풍화변질 및 단층파쇄대 <table> <tr> <th rowspan="3">구분</th><th rowspan="3">풍화 변질</th><th rowspan="3">영향 범위 외</th><th colspan="2">영향범위 내</th></tr> <tr> <th colspan="2">단 층 파 쇄 대</th></tr> <tr> <th>중·소규모 단층</th><th>대규모 단층</th></tr> <tr> <td>결함 점수</td><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr> </table>				구분	풍화 변질	영향 범위 외	영향범위 내		단 층 파 쇄 대		중·소규모 단층	대규모 단층	결함 점수	1	1	2	3
지 역	단층	연장성 (m)	충화정도	충진물	변위(m)	영향폭(m)	확인방법																																																																					
터널서점/중점부	1	100~200	-	-	-	-	탐사																																																																					
	2	200~300	보통	단층각력	약 1	2~5	탐사/지표조사																																																																					
	3	100~200	보통~심함	-	약 0.2	1~3	탐사/지표조사																																																																					
터널중점부	4	100~200	보통	단층각력, 원토	약 1	1~3	탐사/지표조사																																																																					
	5	약 100	보통~심함	-	약 0.2	1~2	탐사/지표조사																																																																					
	6	약 100	-	-	-	-	탐사																																																																					
구분	풍화 변질	영향 범위 외	영향범위 내																																																																									
			단 층 파 쇄 대																																																																									
			중·소규모 단층	대규모 단층																																																																								
결함 점수	1	1	2	3																																																																								
■ 분석 결과 · 탐사 및 지표조사에 의해 확인된 터널구간의 단층 및 파쇄대는 총 6개가 존재 · 단층 및 파쇄대는 모두 수직의 개공은 75° 이상의 경사각을 가지므로, 영향폭은 1~5m로 추정 · 터널 중점부는 굴착시 지하수의 유입에 예상되므로 그라우팅 작업이 요구됨 · 터널 중점부는 구조대가 서로 교차할 것으로 예상되므로 파쇄가 심할 것으로 판단됨							■ 지반조사 보고서를 검토한 결과, 본 터널의 주변지반은 단층파쇄가 있는 상태로 중·소규모 단층으로 결함점수 2점을 책정함.																																																																					

5.5.2 상태평가 결과

가. 철근 콘크리트 상태평가 결과

【표 5.5.5】 철근콘크리트 상태평가 결과

철근콘크리트															
총 Sheet	균열	파손 및 손상	누수	재질열화						주변상태					결함 점수 합계
				박리	충분 리 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산 화	배수 상태	지반 상태	갱문 상태	공동구 상태	특수 조건	
14	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	2.00	2.00	0.00	0.50	0.00	7.00
														결함지수	0.17

나. 무근 콘크리트 상태평가 결과

【표 5.5.6】 무근콘크리트 상태평가 결과

무근콘크리트													
총 Sheet	균열	파손 및 손상	누수	재질열화				주변상태					결합점 수합계
				박리	충분리 박락	백태	재료 분리	배수 상태	지반 상태	갯문 상태	공동구 상태	특수 조건	
48	2.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.50	0.00	7.23
결합지수													0.21

다. 터널 상태평가 결과

【표 5.5.7】 터널상태평가 결과

문수터널(부산)					
구조물	구간별 결합지수	상태평가	라이닝 연장	연장별 가중치	전체결합점수 (F)
NATM 터널(철근)	0.17	B	251.50	0.167	0.03
NATM 터널(무근)	0.21	B	1256.50	0.833	0.18
결합지수					0.21
상태평가 등급					B

라. 터널 부대시설 상태평가 결과

문수터널(부산)은 부대시설로 피난연락갱 3개소가 있으며, 그에 대한 결합지수 및 상태평가 결과는 다음과 같다.

1) 피난연락갱

【표 5.5.8】 터널 부대시설 상태평가 결과(피난연락갱)

Sheet No.	균열	누수	파손 및 손상	재질열화						결합점수 합계	결합지수
				박리	충분리, 박락	백태	재료 분리	철근 노출	탄산화		
피난 연락갱	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0.00	0.00
피난 연락갱	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0.00	0.00
피난 연락갱	a	a	a	a	a	a	a	a	—	0.00	0.00
산술평균	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00(a)

2) 부대시설 상태평가 결과

【표 5.5.9】 터널 부대시설 상태평가 결과

구분	결함점수	결함지수(f)
피난연락경	0.0	0.000
부대시설물의 결함지수	—	0.000

개별 결함지수($\Sigma(f_n)$)	시설물개소(N)	부대시설물 결함지수(f)	상태평가 등급	부대시설 가중치(W)
0.000	3	0.000	A	1.0

※ 부대시설물의 결함지수(f) = $\Sigma(f_n) / N$

마. 터널 전체시설 상태평가 결과

【표 5.5.10】 터널 전체시설 상태평가 결과

문수터널(부산)		
구분	결함지수 산정	상태평가 결과
기본시설물 결함지수(F)	0.21	B
부대시설물 결함지수(f)	0.00	A(가중치 1.0)
전체시설물 결함지수(F)	기본시설물 결함지수(F) × 부대시설 가중치(W) = 0.21 × 1.00 = 0.21	B

바. 공중이 이용하는 부위

과업대상시설물은 터널시설물로서 공중이 이용하는 부위는 도로포장, 환기구 등의 덮개가 시공되어 있으며, 도로부 신축이음부, 추락방지시설(난간, 점검로 등)은 해당사항이 없는 것으로 확인되었다.

1) 추락방지시설

해당사항 없음.

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

2) 도로포장

포장의 결함 및 파손이 미미하게 발생한 상태로 차량주행에 문제는 없으며 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 상태인 “b” 로 평가.

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

3) 도로부 신축이음부

해당사항 없음.

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

4) 환기구 등의 덮개

덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없고 기능성에 문제가 없는 상태인 “b” 로 평가.

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

5.5.3 상태평가 결과요약

본 과업대상은 현장조사 및 시험을 토대로 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침-터널편 (2024.12)』에 따라 형식별로 상태평가를 실시한 후 서로 다른 가중치를 적용하여 환산결함도 점수를 산출하였다.

가. 상태평가 결과

상태평가 결과 결함지수 0.21로 “기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태”인 B등급(양호, $0.15 < \text{결함지수} \leq 0.30$)으로 평가되었다.

나. 기 정밀안전점검 결과와의 비교

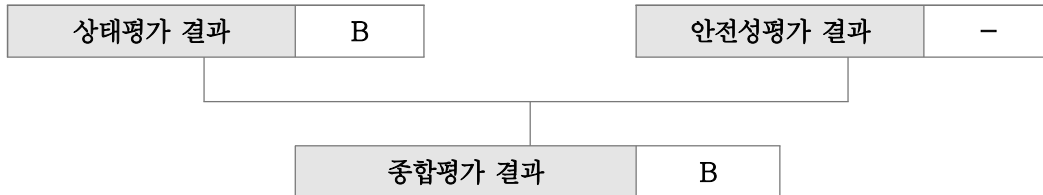
【표 5.5.11】 기 점검결과와의 비교 결과

구분	2023년 정밀안전점검	2024년 정밀안전진단	2025년 정밀안전점검	비고
결함지수	0.174	0.204	0.21	
상태등급	B	B	B	
검토의견	- 금회 상태평가 결과, “B등급”으로 평가되었으며, 기존점검 이후 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다. - 환산결함도 점수가 24년 정밀안전진단 0.204 ⇨ 25년 정밀안전점검 0.21로 소폭 상승하였으며, 전회 정밀안전진단의 염화물평가의 가중치가 제외되어 터널 결함점수의 합이 43점 ⇨ 41점으로 조정된 것이 상태평가 점수 변화의 주된 원인으로 확인되었다.			

5.6 종합평가 및 안전등급 지정

5.6.1 종합평가 결과

본 과업은 정밀안전점검 과업으로서 안전성평가는 실행하지 않아 상태평가결과만을 종합평가 결과로 결정하였으며, 그 결과는 다음과 같다.



【그림 5.6.1】 종합평가 결과

【표 5.6.1】 종합평가결과 산정표

시설물 종합평가결과 산정표				
시설물명	문수터널(부산)			
평가구분	터널결합지수	평가결과	비 고	
상태평가	F=0.21	B	근거 표번호	표 5.5.10
안전성평가	해당없음	—	근거 표번호	—
종합평가	0.21	B		
종합평가 결과	■ 금회 상태평가 결과가 “B등급” 으로 평가되어 종합평가 등급이 “B등급” 으로 산정되었다. ■ 환산결합도 점수가 24년 정밀안전진단 0.204 ⇨ 25년 정밀안전점검 0.21로 소폭 상승하였으며, 전회 정밀안전진단의 염화물평가의 가중치가 제외되어 터널 결합점수의 합이 43점 ⇨ 41점으로 조정된 것이 상태평가 점수 변화의 주된 원인으로 확인되었다.			

【표 5.6.2】 종합평가 등급 변화 비교

시행년도	분류	상태평가	안전성평가	종합평가	비 고
2023	정밀안전점검	B (0.174)	—	B	
2024	정밀안전진단	B (0.204)	A (1.47)	B	
2025	정밀안전점검	B (0.21)	—	B	

5.6.2 안전등급 지정

종합평가 결과에 따른 본 시설물의 안전등급은 『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』인 “B등급”으로 지정하였다.

【표 5.6.3】 안전등급 지정

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 위협이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

5.7 보수·보강 및 유지관리방안

5.7.1 보수·보강 방안

【표 5.7.1】 손상별 보수·보강 방안

구분	손상 내용	단위	물량	개소	보수방안	우선순위
천장부	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	396.10	108	표면처리	3순위
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	140.30	20	단면보수	2순위
	망상균열	m ²	46.00	5	표면처리	3순위
	콘크리트 박락	m ²	0.44	6	단면보수	2순위
	철근노출	m ²	0.36	14	단면보수	2순위
	마감불량	m ²	0.07	2	단면보수	3순위
측벽부	균열(0.3mm미만)	m	2.40	2	표면처리	3순위
	균열(0.3mm이상)	m	0.50	1	단면보수	2순위
	파손	m ²	0.02	2	단면보수	3순위
	타일 파손 및 탈락	EA	115.00	115	교체	3순위
사면	외부배수로 균열, 재균열 (0.3mm이상)	m ²	11.00	4	단면보수	2순위
공동구	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	225.80	275	표면처리	2순위
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	m	47.10	68	단면보수	2순위
	망상균열	m ²	1.20	1	표면처리	2순위
	박락, 철근노출 보수부 들뜸	m ²	1.07	3	단면보수	2순위
	긁힘, 파손	m ²	2.05	38	단면보수	2순위
	난간 지주 파손	EA	10.00	10	교체	2순위
	덮개 파손	EA	66.00	66	교체	2순위
배수시설	측구 균열(0.3mm미만)	m	51.70	89	표면처리	3순위
	측구 균열(0.3mm이상)	m	43.90	74	단면보수	2순위
	측구 파손	m ²	0.60	6	단면보수	3순위
	집수구 토사퇴적	EA	57.00	57	정비	3순위
	그레이팅 부식	EA	50.00	50	정비	3순위
포장부	포장 균열	m	202.50	165	주입보수	3순위
	포장 파손	m ²	6.22	49	단면보수	3순위
	포장 마모	m ²	32.00	4	주의관찰	—
	포장 패임	m ²	0.25	1	단면보수	3순위
	재료분리	m ²	0.30	1	단면보수	3순위

5.7.2 개략공사비

대상 시설물의 손상별 보수방안, 개략공사비는 다음과 같다.

【표 5.7.2】 손상별 보수·보강 방안 및 개략공사비

구 분	손상내용	보수방안	손상물량	보수물량	단위	단가 (천원)	개략공사비 (천원)	우선 순위
천장부	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	표면처리	396.10	148.54	m²	299	44,413	3순위
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	단면보수	140.30	52.61	m²	1,152	60,610	2순위
	망상균열	표면처리	46.00	69.00	m²	299	20,631	3순위
	콘크리트 박락	단면보수	0.44	0.66	m²	1,152	760	2순위
	철근노출	단면보수	0.36	0.54	m²	1,152	622	2순위
	마감불량	단면보수	0.07	0.11	m²	1,152	127	3순위
측벽부	균열(0.3mm미만)	표면처리	2.40	0.90	m²	299	269	3순위
	균열(0.3mm이상)	주입보수	0.50	0.19	m	1,152	216	2순위
	파손	단면보수	0.02	0.03	m²	1,152	35	3순위
	타일 파손 및 탈락	교체	115.00	115.00	EA	7	805	3순위
사면	외부배수로 균열, 재균열 (0.3mm이상)	단면보수	11.00	4.13	m²	1,152	4,752	2순위
공동구	균열, 보수부 재균열 (0.3mm미만)	표면처리	225.80	84.68	m²	299	25,319	2순위
	균열, 보수부 재균열 (0.3mm이상)	단면보수	47.10	17.66	m²	1,152	20,347	2순위
	망상균열	표면처리	1.20	1.80	m²	299	538	2순위
	박락, 철근노출 보수부 들뜸	단면보수	1.07	1.61	m²	1,152	1,855	2순위
	굽힘, 파손	단면보수	2.05	3.08	m²	1,152	3,548	2순위
	덜개 파손	교체	66.00	66.00	EA	5	330	2순위
	난간 지주 파손	교체	10.00	10.00	EA	5	50	2순위
배수시설	측구 균열(0.3mm미만)	표면처리	51.70	19.39	m²	299	5,798	3순위
	측구 균열(0.3mm이상)	단면보수	43.90	16.46	m²	1,152	18,965	2순위
	측구 파손	단면보수	0.60	0.90	m²	1,152	1,037	3순위
	집수구 토사퇴적	정비	57.00	57.00	EA	7	399	3순위
	그레이팅 부식	정비	50.00	50.00	EA	7	350	3순위
포장부	포장 균열	주입보수	202.50	303.75	m	103	31,286	3순위
	포장 파손	단면보수	6.22	9.33	m²	1,152	10,748	3순위
	포장 패임	단면보수	0.25	0.38	m²	1,152	438	3순위
	재료분리	단면보수	0.30	0.45	m²	1,152	518	3순위
개략 공사비 (천원)	구 분	1순위		2순위		3순위		
	순공사비	-		137,912		116,854		
	재경비 (순공사비의 50%)	-		68,956		58,427		
	합계	-		206,868		175,281		
개략공사비 총계(천원)		382,149						

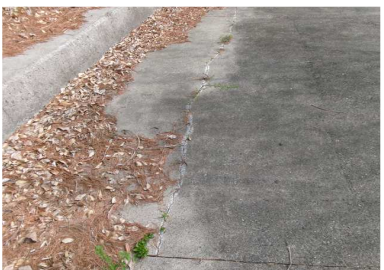
주1) 보수물량은 손상물량에 50%를 할증하였음.

주2) 0.3mm미만 균열보수는 손상물량(m)×0.25(m)를 하여 면적(m²)으로 산출하였음.

5.7.3 유지관리방안

본 시설물에 대한 정밀안전점검 결과에 따라, 향후 유지관리 시 터널의 안전성, 사용성 및 내구성 차원에서 중점적으로 관찰하고 유의하여야 할 중점유지관리 항목을 설정하여 다음 표와 같이 제시하였다.

【표 5.7.3】 중점유지관리 항목

구 분	현 황	관리방안	관련사진
라이닝	■ 균열, 재균열, 망상균열 (CW=0.3mm이상)	■ 정기 및 차기 안전점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
	■ 들뜸 및 박락	■ 정기 및 차기 안전점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 시 품질 및 시공관리 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
사면	■ 배수로 균열, 재균열 (CW=0.3mm이상)	■ 정기 및 차기 안전점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
공동구	■ 파손, 덮개 파손	■ 정기 및 차기 안전점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 보수 후 재손상 발생여부 확인	
포장부	■ 포장 마모, 파손	■ 정기 및 차기 안전점검 시 손상수량 증가, 손상부 확대여부 확인 - 손상 확대에 따라 보수시기 결정	

5.8 종합결론

본 시설물인 문수터널(부산)은 울산광역시 울주군 청량읍(고속국도65호선)에 위치한 터널로 2008년 12월에 준공하여 약 17년간 공용중인 시설물이며, 해당 터널은 1종 시설물로서 연장 1,508.0m, 편도 3차로, 평면선형은 곡선(R=1,494.9m), 종단구배는 0.5%, 시공공법은 NATM공법, 갱문은 벨마우스, 환기방식은 강제환기(Jet-Fan) 방식으로 시공되어있다. 시공자료 분석을 포함, 현장외관조사 및 시험, 상태평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

5.8.1 정밀안전점검 결과

가. 현장조사 및 시험

1) 천장부

- 천장부에서 조사된 균열(0.3mm미만, 이상), 보수부 재균열(0.3mm미만, 이상), 망상균열의 경우 라이닝 콘크리트의 거푸집 조기탈거, 건조수축, 보수미흡 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 콘크리트 박락, 마감불량의 경우 거푸집 조기탈거, 다짐불량, 온도변화에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 안전성에 영향을 미치는 손상은 아닌 것으로 판단되며, 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 적절한 조치를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 철근노출의 경우 피복부족, 다짐불량, 시공미흡 등에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 안전성에 미치는 영향은 미미하나 손상의 진전, 부식 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수(방청) 등의 적절한 조치를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

2) 측벽부

- 측벽부에서 조사된 균열(0.3mm미만, 이상)은 라이닝 조인트부의 하단부, 타일 상단부 일부에 발생한 손상으로, 콘크리트의 계절변화에 따른 온도변화 및 건조수축 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리, 주입보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 조사된 파손의 경우 외부충격 등에 의한 손상으로 판단되며, 내구성 확보 차원의 단면보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.
- 타일파손 및 탈락의 경우 시설물의 외부충격, 공용기간 증가, 부착력 저하 등 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 주기적인 점검을 통하여 손상의 추가적인 발생여부를 확인하고

추후 손상물량의 증가시 일괄적으로 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

3) 갯문

- 갯문에 대한 현장조사 결과, 기존 및 신규손상이 없는 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부를 확인하는 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

4) 피난연락갱

- 피난연락갱에 대한 현장조사 결과, 손상이 발생하지 않은 양호한 상태로 조사되었으며, 주기적인 점검을 실시하는 유지관리가 요구된다.

5) 사면

- 터널부 사면은 준공이후 지형의 변화나 사면활동 등의 외형적인 변화는 없는 것으로 관찰되었고, 녹생토 활착이 전반적으로 양호한 것으로 조사되었다. 또한, 사면의 유실 및 슬라이딩 징후(인장균열)는 확인되지 않았으나, 강우, 폭우, 해빙기 등이 발생하는 시기에는 주기적인 관찰을 실시하는 유지관리가 필요하다고 판단된다.
- 조사된 외부배수로 균열 및 재균열(0.3mm이상)의 경우 사면 배수로측에 발생한 손상으로 시공초기 콘크리트 경화시 건조수축의 영향으로 생긴 표면손상으로 판단되며, 부재의 내구성 확보 및 원활한 배수기능을 위한 보수가 필요하다.

6) 공동구

- 공동구에서 조사된 균열 및 재균열(0.3mm미만), 망상균열의 경우 거푸집 조기탈거, 온도변화 및 건조수축, 보수재 열화 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 공동구 균열 및 재균열(0.3mm이상)의 경우 거푸집 조기탈거, 온도변화 및 건조수축, 미세균열의 진전, 보수재 열화 등의 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 주입보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 공동구 박락, 철근노출, 보수부 들뜸, 파손 등의 경우 외부충격, 지속적인 진동 발생, 온도변화 등에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 확보 차원의 단면보수, 단면보수(방청) 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

- 공동구 덮개 파손의 경우 외부충격, 공용기간 증가 등에 의한 손상으로 판단되며, 점검 및 피난자의 안전 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 보수가 필요하다고 판단된다.
- 조사된 난간 지주 파손의 경우 외부충격에 의한 손상으로 점검 및 피난자의 안전 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 보수가 필요하다고 판단된다.

7) 배수시설

- 배수시설에서 조사된 측구 균열(0.3mm미만, 이상)의 경우, 배수로 상면에 발생한 손상으로 발생원인은 콘크리트 품질관리미흡, 건조수축, 온도변화에 따른 신축작용 등의 복합적 요인에 의한 손상으로 판단되며, 구조물에 영향을 미치는 손상은 아니나 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진을 위한 표면보수, 주입보수를 실시하는 유지관리가 필요하다.
- 배수시설 측구 파손의 경우 외부충격, 지속적인 진동 발생, 온도변화 등에 의한 신축작용 등에 복합적인 원인에 의한 손상으로 판단되며, 구조적인 영향을 미치는 손상은 아니나 손상의 진전 방지 및 구조물의 내구성 증진을 위한 단면보수 등의 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 배수시설 집수구 토사퇴적, 그레이팅 부식의 경우 외부충격, 공용기간 증가 등 복합적인 원인으로 인한 손상으로 판단되며, 부재의 사용성 향상 및 원활한 배수를 위한 정비 등의 조치가 필요한 것으로 판단된다.

8) 포장부

- 포장부의 콘크리트 포장에서 조사된 포장 균열의 경우 건조수축 및 온도변화, 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 하중 등 발생된 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 손상의 진전 및 내구성 확보 차원의 적절한 보수가 필요하며, 보수 후에도 차량하중으로 인한 재손상이 우려되므로 주기적인 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 조사된 포장 파손의 경우 중차량의 반복통행에 의한 진동 및 충격, 다짐불량 등 발생된 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 손상의 진전 및 내구성 확보를 위해 적절한 보수가 필요하며, 보수 후에도 차량하중으로 인한 재손상이 우려되므로 점검을 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.
- 조사된 포장 마모, 재료분리의 경우 공용기간 증가, 중차량의 반복통행 등에 의한 진동 및 하중 등 발생된 것으로 판단되며, 현재 차량의 주행성에 영향을 미치는 정도는 아니나, 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부를 확인하고 손상의 진전시 원활한 주행성을 위한 재포장 등의 조치를 취하는 것이 바람직하다고 판단된다.

9) 기타부속시설

- 기타부속시설에 대한 현장조사 결과, 조사된 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

10) 공중이 이용하는 부위

(1) 추락방지시설

- 공중이 이용하는 부위 중 추락방지시설은 미설치된 상태이다.

(2) 도로부 포장 및 신축이음부

- 공중이 이용하는 부위 중 도로부 포장은 “현장조사 결과 - 포장부, 공동구”에 기입된 사항으로 대체하였다.

(3) 환기구 등의 덮개

- 공중이 이용하는 부위 중 환기구 등의 덮개는 “현장조사 결과 - 공동구”, “현장조사 결과 - 배수시설”에 기입된 사항으로 대체하였다.

10) 내구성 조사

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 25.5~27.4MPa로 측정되었으며, 금회 실시한 비파괴강도는 모두 설계기준 압축강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도저하가 없는 것으로 판단된다. 따라서, 금회 시험을 실시한 라이닝 콘크리트 강도는 공용년수 경과에 따른 강도 저하가 발생되지 않은 것으로 판단된다.
- 탄산화 깊이 측정결과, 탄산화깊이는 3.5~5.0mm로 측정되었으며, 잔여깊이가 30mm이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 "a"로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

나. 상태평가 결과

- 금회 상태평가 결과 “B등급”으로 평가되었으며, 기존점검 이후 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었고, 환산결함도 점수가 24년 정밀안전진단 0.204 ⇨ 25년 정밀안전점검 0.21로 소폭 상승하였으며, 전회 정밀안전진단의 염화물평가의 가중치가 제외되어 터널 결함점수의 합이 43점 ⇨ 41점으로 조정된 것이 상태평가 점수 변화의 주된 원인으로 확인되었다.

다. 종합평가 결과

- 금회 상태평가 결과가 “B등급” 으로 평가되어 종합평가 등급이 “B등급” 으로 산정되었다.
- 환산결함도 점수가 24년 정밀안전진단 0.204 ⇨ 25년 정밀안전점검 0.21로 소폭 상승하였으며, 전회 정밀안전진단의 염화물평가의 가중치가 제외되어 터널 결함점수의 합이 43점 ⇨ 41점으로 조정된 것이 상태평가 점수 변화의 주된 원인으로 확인되었다.

5.8.2 종합결론, 정밀안전진단 및 사용제한의 필요성 여부

- 대상 시설물에 대한 정밀안전점검 결과, 국부적으로 손상이 발생하였으나 시설물의 전반적인 안전성 및 기능성에는 특별한 문제가 없는 상태로서 주기적인 점검을 통한 관리를 시행한다면 대상시설물의 사용성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다.
- 대상 시설물은 금회 정밀안전점검 결과, 정밀안전진단 및 사용제한이 필요치 않다.

5.8.3 유지관리 시 특별한 관리가 요구되는 사항

문수터널(부산)에 대한 정밀안전진단결과 중점관리 사항은 아래와 같다.

- ① 라이닝 균열 : 균열의 진전 및 추가발생 여부 확인
- ② 라이닝 조인트부 들뜸 및 박락 : 손상의 진전 및 탈락으로 인한 안전사고 우려
- ③ 배수시설 집수정 토사퇴적 : 우기 및 평상시 원활한 배수작동 여부 확인
- ④ 공동구 덮개 파손 : 손상 진전으로 인한 이용자 안전사고 우려
- ⑤ 포장부 마모, 파손 : 주행차량의 안전성 우려

5.8.4 기타 필요한 사항

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

