

특정사안감사

감 사 보 고 서

- 수서평택고속철도 율현터널(궤도) 안전관리실태 -

2021. 3.

감 사 원

목 차

I. 감사실시 개요	1
1. 감사배경 및 목적	1
2. 감사중점 및 대상	2
3. 감사실시 과정	3
4. 감사결과 처리	3
II. 감사 대상 시설 관련 현황	4
1. 철도건설사업과 SRT	4
2. 율현터널 현황	9
3. 철도터널의 배수 방법	11
III. 감사결과	13
1. 감사결과 총괄	13
2. 율현터널 궤도 용기 및 바닥 배수로 여굴 처리 실태	14
3. 감사결과 확인된 문제점	20
가. 율현터널 시공 및 용기 억제대책 부적정	20
나. 철도터널 배수로 여굴 처리기준 미마련	40
다. 궤도틀림 점검 결과에 따른 속도제한 미실시	51
[별표]	55

표 목차

[표 1] 감사중점	2
[표 2] 철도의 구분	5
[표 3] 철도건설사업 추진 절차	5
[표 4] 철도 건설공사 건설기준 체계도	6
[표 5] 고속철도 건설사업 현황(2019년 12월 현재)	7
[표 6] SRT 계약 종류별 공구 구분 현황	9
[표 7] 지적사항 총괄	13
[표 8] 율현터널 용기(30mm 초과) 발생 현황	15
[표 9] 공구별 인버트 설치 현황	17
[표 10] 제3-1공구(18.250km 지점 인근) 주요 감속운행 현황	18
[표 11] SRT 공구별 공사 현황	21
[표 12] 율현터널 제3-1공구의 용기 발생 현황	30
[표 13] 율현터널 제3-1공구의 손상(허용균열폭 이상의 균열) 발생 현황	31
[표 14] 터널의 암반관정위원회 구성 지침 개정 내용	32
[표 15] 제3-1공구 암반관정위원회 운영 현황	33
[표 16] 율현터널의 용기(30mm 초과) 발생 현황	34
[표 17] 시추조사 결과	47
[표 18] 고속철도 궤도틀림 선로에 대한 유지관리 절차(철도공사)	51
[표 19] 궤도틀림의 관리단계별 조치사항	52
[표 20] SRT 궤도를 종합검측차로 점검한 결과보고서(상행선, 2020. 4. 17.)	53

그림 목차

[그림 1] 궤도, 터널 구간 및 성토 구간의 단면	6
[그림 2] SRT 노선과 3개 역(수서, 동탄, 평택 지제)	8
[그림 3] 율현터널 시공 단면 비교	10
[그림 4] 신갈 단층과 SRT 율현터널	10
[그림 5] 율현터널(제3-1공구) 굴착 단면 내 단층 파쇄대 위치	10
[그림 6] 철도터널 배수형식의 종류	11
[그림 7] 배수형 방수형식 터널의 배수시설(단선터널의 경우)	12
[그림 8] 배수로의 시공형태	12
[그림 9] 궤도 용기부 주변 레일 인상(보수) 방법	16
[그림 10] 율현터널의 배수로 위치	18
[그림 11] 율현터널 바닥부 여굴(쇄석 채움) 시공도	19
[그림 12] 단층 파쇄대 중심을 통과하는 SRT 율현터널 현황	21
[그림 13] 제3-1공구의 용기 발생 및 감속운행 구간 등 개요도	22
[그림 14] 제3-1공구 “보강공법 선정기준” 비교	25
[그림 15] 인버트 시공 단면과 미시공 단면 비교	25
[그림 16] 제3-1공구의 용기 발생 구간에 대한 GSI 재평가 결과	27
[그림 17] 율현터널(제3-1공구) 용기 발생 후 보강공사(2~3차) 개요도	34
[그림 18] PD-6-1A 및 PD-6-2 공법의 시공단면	35
[그림 19] 율현터널의 용기 발생 개념도	36
[그림 20] SRT 건설사업 현황	40
[그림 21] 철도터널 단면의 구성	41
[그림 22] 터널 바닥부에 시공하는 구조물 현황	42
[그림 23] 지반조건이 양호한 경우의 열차 진동 감소	43
[그림 24] 지반조건이 불량한 경우의 열차 진동 증가	44
[그림 25] 시추조사 위치 평면도	46

사진 목차

[사진 1] SRT 열차 및 수서역 전경	8
[사진 2] 율현터널 굴착공사 과정	9
[사진 3] 터널 시공 주요 절차도	22
[사진 4] 율현터널의 융기 발생 및 손상 사진	30
[사진 5] 율현터널 제3-1공구의 공동구 벽체 손상 사진	49
[사진 6] 궤도검측차의 종류	51

도표 목차

[도표 1] 보강방법별 터널 바닥 융기량 예측	36
[도표 2] 배수로 부분의 쇄석 채움 확대에 따른 열차 진동 등의 변화	48

I. 감사실시 개요

1. 감사배경 및 목적

수서평택고속철도(Super Rapid Train, 이하 “SRT”라 한다)는 서울특별시 강남구 수서동에서 경기도 평택시까지 총연장 61.1km의 고속철도 노선으로서 2016. 12. 9. 개통 이후 연간 2,390만여 명이 이용하는 수도권 주요 교통시설이다.

그리고 SRT 연장 61.1km 중 82%를 차지하는 율현터널(50.3km)은 국내 최장 터널로서 SRT 열차가 1일 평균 120회 운행 중이고, 2024년부터는 광역급행철도(GTX-A)도 위 터널(노선)을 함께 이용할 계획이다.

한편 SRT 건설사업시행자인 국가철도공단(구 한국철도시설공단)은 율현터널이 단층작용으로 암반층이 부스러져 형성된 파쇄대(破碎帶)를 통과하므로 향후 발생할 수 있는 변위를 막기 위해 터널 굴착공사 시 수시로 암반 상태를 평가하여 보강공법을 선정하는 절차인 ‘암반판정(巖盤判定)’ 방법을 세분화하는 등으로 파쇄대 구간의 터널 단면을 보강하기 위해 노력하였다.

그런데 SRT 개통 후 2개월 만인 2017년 2월 율현터널 내 제3-1공구 구간의 고속철도 궤도(레일을 포함한 철도 하부 구조체)가 융기(隆起)되는 현상이 발생한 이후 계속 확대되어 2020년 6월까지 30mm를 초과하는 융기(최고 189mm)가 460m(3개 공구 융기 연장 합계) 구간에서 지속 발생하였고, 2018년 11월부터는 SRT 열차도 일부 구간에서 감속운행(90~170km/h)하고 있다.

이에 국가철도공단과 시공사는 융기 발생을 억제하기 위해 제3-1공구에 대하여 2018년 11월부터 2019년 5월까지 2차례 보강공사를 하였으나 추가 융기 발생

을 억제하지 못하였고, 2020년 2월 같은 방법으로 3차 보강공사를 한 후 변위 여부를 모니터링하고 있으며 향후 나머지 공구에까지 보강공사를 확대하려고 계획하고 있다.

이와 관련하여 율현터널 시공 시 암반판정 및 보강이 부실하였고, 현재의 보강공사(마이크로파일 시공 등)로는 용기가 재발할 수 있다는 전문가 의견이 제기되는 등 용기 억제대책 및 SRT 안전성에 대한 논란이 발생하였다.

이에 따라 SRT 율현터널의 시공 및 관리실태를 점검하여 용기 발생 원인에 따른 근본적인 용기 억제대책을 마련하도록 함으로써 시설물 안전성을 강화하고 국민 불안을 해소하고자 2020년 감사계획에 반영하여 이번 감사를 실시하게 되었다.

2. 감사중점 및 대상

이번 감사는 SRT 율현터널 구간 중 궤도 용기 현상이 가장 심하고 SRT 열차가 감속운행 중인 제3-1공구를 중심으로 [표 1]과 같이 설계·시공 및 용기 발생 이후 보수·보강업무의 적정성 등을 점검하는 데 중점을 두었다.

[표 1] 감사중점

대상시설	감사중점
SRT 율현터널(궤도)	<ul style="list-style-type: none"> ▶ (용기 발생 전) 율현터널 설계·시공의 적정성 ▶ (용기 발생 후) 율현터널 보수·보강 등 안전관리의 적정성

이를 위해 국토교통부, 국가철도공단, 한국철도공사 등 3개 기관을 대상으로 감사를 실시하였다.

3. 감사실시 과정

실지감사에 앞서 2020년 6~7월 SRT 율현터널 현장확인 및 시추조사, 공사 추진 현황 관련 설명회의 등을 하였고, 2020. 10. 12.부터 10. 23.까지 10일간 언론 보도사항 및 연구기관 등의 각종 연구보고서, 국회 논의사항 등을 수집·분석하였으며, 사단법인 ○○학회, 한국철도기술연구원 및 한국건설기술연구원 등의 연구기관 소속 전문가 면담 및 의견 청취 등 사전 자료수집을 하였다.

특히 율현터널 궤도 용기와 관련하여 감사결과의 객관성을 확보하기 위해 사단법인 ○○학회를 통해 용기 발생 원인과 용기 억제대책, 배수로 여굴(설계한 터널 계획면보다 더 크게 굴착된 공간)이 터널에 미치는 영향 등과 관련하여 기술적인 검토를 의뢰하거나 자문하였다.

이와 같은 감사 준비 과정을 거쳐 2020. 10. 29.부터 같은 해 12. 9.까지¹⁾ 총 12일간 감사인원 4명을 투입하여 국토교통부, 국가철도공단, 한국철도공사 등 3개 기관을 대상으로 감사를 실시하였다.

4. 감사결과 처리

감사결과 위법·부당사항과 관련하여 2020. 11. 19. 국가철도공단 건설본부장 등이 참석(국토교통부는 코로나19 상황으로 인해 2020. 12. 2. 확인서 및 의견서로 대체)한 가운데 감사마감회의를 실시하고, 업무처리 경위·향후 처리대책 등에 대한 답변서를 받는 등 주요 지적사항에 대한 의견을 교환하였다. 이후 감사원에서는 감사마감회의에서 제시된 의견 등을 포함하여 지적사항에 대한 내부 검토를 거쳐 2021. 3. 25. 감사위원회회의의 의결로 감사결과를 최종 확정하였다.

1) 코로나19 상황과 사회적 거리두기 단계 등을 고려하여 감사기간 동안 서면·비대면 중심으로 감사를 하였고, 대면 감사는 필요 최소한으로 실시하였음

II. 감사 대상 시설 관련 현황²⁾

[범례]

이하 다음의 약칭을 사용한다.

<기관명>

- 국토교통부: 국토부
- 국가철도공단(구 한국철도시설공단): 철도공단
- 한국철도공사: 철도공사
- 사단법인 ○○학회: ○○학회

<법령명>

- 「철도의 건설 및 철도시설 유지관리에 관한 법률」: 철도건설법
- 「국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령」: 국가계약법 시행령
- 철도건설공사 전문시방서: 철도전문시방서
- 철도건설공사 전문시방서 부록 「암판정지침」: 암판정지침
- 「선로유지관리지침」: 선로지침

<기타>

- 수서평택고속철도: SRT
- 건설사업관리용역사업자: 감리용역업체
- 책임건설사업관리기술인: 감리단장

1. 철도건설사업과 SRT

가. 철도의 구분과 철도건설사업의 추진 절차

‘철도’는 [표 2]와 같이 철도건설법 제2조에 따라 고속철도와 광역철도 및 일반철도로 구분되며 이 중 고속철도는 열차가 주요 구간을 200km/h 이상으로 주행하는 철도로서 국토부장관이 지정·고시하는 철도를 말한다.

2) 이 부분은 감사결과 지적된 문제점의 종합적인 이해를 돕기 위하여 감사 대상 업무의 현황을 기술한 것으로, 감사 대상기관이 제출한 자료 등을 바탕으로 작성되었고, 현장조사 등 감사의 방법으로 검증한 내용이 아님

[표 2] 철도의 구분

구분	정의
고속철도	▶ 열차가 주요 구간을 200km/h 이상으로 주행하는 철도로서 국토부장관이 지정·고시하는 철도 - 예: 경부고속철도, 호남고속철도, SRT(구 수도권고속철도) 등
광역철도	▶ 둘 이상의 시·도에 걸쳐 운행되는 도시철도 또는 철도로서 국토부장관이나 시·도지사가 지정·고시하는 철도 - 예: 경인선(구로역~인천역), 분당선(왕십리역~수원역), 신분당선(강남역~광교역) 등
일반철도	▶ 고속철도와 「도시철도법」에 따른 도시철도를 제외한 철도

자료: 철도건설법 제2조 등 재구성

철도건설사업은 [표 3]과 같이 철도건설법 제4조에 따라 수립하는 국가철도망구축계획에서 해당 철도건설사업의 계획을 수립한 후 예비타당성 조사, 기본계획 수립·고시, 기본 및 실시설계, 실시계획 승인·고시, 공사 입찰 및 계약, 공사 실시 및 준공 순으로 시행되며 철도종합시험운행, 영업 시운전 등을 실시한 후 철도를 개통한다.

[표 3] 철도건설사업 추진 절차



자료: 철도건설법 등 관계법령 재구성

나. 철도 건설공사 건설기준 등

철도 건설공사 시 적용하는 건설기준으로는 [표 4]와 같이 철도건설법과 「철도건설규칙」 등 법령이 있고, 국토부장관이 고시하는 「철도의 건설기준에 관한 규정」, 「철도설계기준」, 철도전문시방서 등이 있으며, 철도공단 자체 기준인 「철도설계지침 및 편람」 등이 있다.

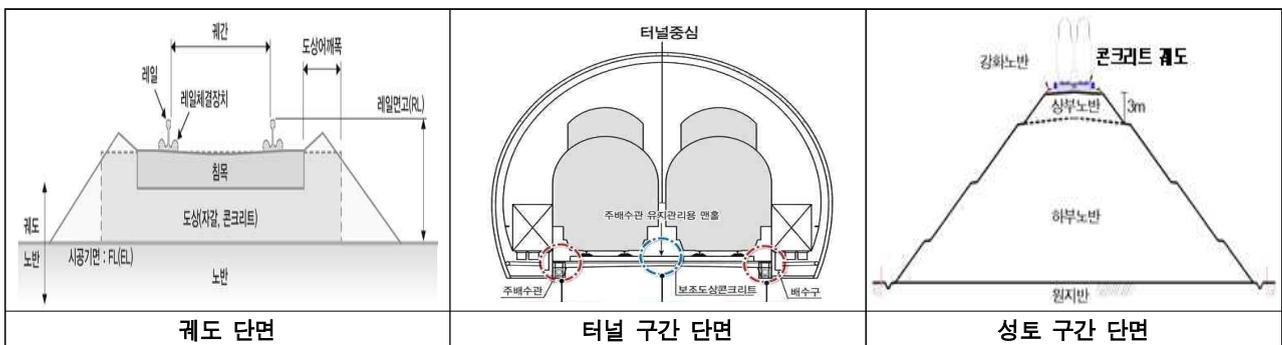
[표 4] 철도 건설공사 건설기준 체계도

법	철도건설법	
대통령령	철도건설법 시행령	
국토부령	철도건설법 시행규칙, 철도건설규칙	
국토부 고시	철도의 건설기준에 관한 규정	
	설계기준	철도설계기준
	시공기준	철도전문시방서(노반편, 궤도편, 건축편)
철도공단 기준	설계기준	철도설계지침 및 편람, 철도표준도 등
	시공기준	전문시방서(시스템편)

자료: 철도공단 제출자료 재구성

한편 철도 건설공사는 [그림 1]과 같이 원지반(암반) 위에 노반³⁾을 시공하고 그 위에 궤도(레일, 레일체결장치, 침목, 도상으로 구성)를 시공한 이후 건축·전기·신호·통신·차량기지 순으로 시공한다.

[그림 1] 궤도, 터널 구간 및 성토 구간의 단면



자료: 철도공단 제출자료 재구성

3) 궤도와 원지반(암반층) 사이 구조물로서 상부 궤도를 지지하는 역할을 하는데, 성토부와 다르게 터널부에서는 노반층이 명확하게 구분되지 않지만, 궤도(도상)를 시공하기 위한 터널 하부 굴착 및 처리공사가 모두 노반공사에 해당함

다. 고속철도 건설사업 추진 현황

철도건설사업시행자이면서 철도시설관리자인 철도공단⁴⁾은 최초 경부고속철도 1단계 건설사업을 시작으로 호남고속철도 1단계 건설사업과 SRT 건설사업 등을 차례로 시행하였고, 2019년 12월 현재 [표 5]와 같이 8개의 고속철도 건설 사업을 완료하였거나 건설(설계) 중이다.

[표 5] 고속철도 건설사업 현황(2019년 12월 현재)

(단위: km, 억 원)

구분	연번	사업명	구간	연장	개통 연월	총사업비	비고
운영 중	1	경부고속철도 ¹⁾ 1단계	서울~동대구	238.6 ²⁾	2004년 4월	127,377	
	2	경부고속철도 2단계	동대구~부산	169.5	2015년 8월	82,368	
	3	호남고속철도 1단계	오송~광주송정	182.3	2015년 4월	81,313	
	4	호남고속철도 2단계	광주송정~고막원	26.4	2019년 6월	1,881	부분 개통
	5	SRT(수서~평택)	수서~평택	61.1	2016년 12월	30,583	
건설 중	6	호남고속철도 2단계	고막원~목포	51.2	-	22,813	실시설계 중
	7	인천발 KTX 직결사업	어천~경부고속선	6.24	-	3,936	실시설계 중
	8	수원발 KTX 직결사업	서정리~지제	9.45	-	2,702	실시설계 중

주: 1. 경부고속철도의 총연장은 417.5km(서울역~부산역)이나 기존선 구간(17.6km, 서울역~시흥연결선)을 제외한 나머지 399.9km 구간에서만 고속운행이 가능함

2. 경부고속철도(1단계) 사업구간은 광명역~대전역 구간(139.3km)과 대전역~동대구역 구간(99.3km)임

자료: 철도공단 제출자료 재구성

라. SRT 건설사업 추진 현황

SRT를 건설하게 된 주요 추진배경은 경부선축의 서울~시흥 간 선로를 통해 전국 대부분의 열차가 서울역, 용산역으로 집중되어 더 이상 열차를 투입할 수 없는 포화상태에 이를 정도로 위 선로의 용량이 부족해졌지만, 서울 도심구간은 고층 건물이 많아 선로를 추가로 건설하는 것은 불가능하였기 때문이다.

이러한 문제점을 해소하고 서울 강남권역 및 경기 동남권역(성남, 용인, 동탄, 수원, 평택 등)에서도 고속철도를 쉽게 이용할 수 있도록 [사진 1] 및 [그림 2]와 같이 수서역~평택 지제역 구간의 SRT를 건설하여 SRT 열차를 운행하는 것으로 결정되었다.

4) 1992년 3월 한국고속철도건설공단이 설립된 이후 2004년 1월 철도의 건설과 운송 업무를 함께 수행하던 구 철도청의 기능 중 건설부문과 통합하여 한국철도시설공단이 설립되었고 2020. 9. 10. 국가철도공단으로 명칭 변경

[사진 1] SRT 열차 및 수서역 전경



자료: 철도공단 제출자료 재구성

SRT는 2009년 8월 예비타당성 조사, 2009년 12월 기본계획 고시, 2011년 5월 실시계획 승인 및 착공(12개 공구별 착공), 2015년 6월 율현터널 관통, 2016년 12월 준공 및 개통 등의 과정을 거쳤으며 [그림 2]와 같이 3개 역(수서, 동탄, 평택 지제), 연장 61.1km 규모의 고속철도로서 경기도 평택(종점)에서 경부고속철도와 연결되고 장래에는 광역급행철도(GTX-A)도 노선을 같이 이용할 예정⁵⁾이다.

[그림 2] SRT 노선과 3개 역(수서, 동탄, 평택 지제)



주: SRT(적색 선, 수서역~평택 지제역)는 평택 지제역 아래쪽에서 경부고속철도(흑색 선)와 연결되고, 향후 율현터널(분홍색 선)의 수서역~동탄역 구간은 광역급행철도(GTX-A, 삼성역~용인역 등 4개 역 별도 운영, 청색 선)와 같이 이용할 예정

자료: 철도공단 제출자료 재구성

한편 철도공단은 SRT 건설공사와 관련된 민원 최소화 및 보상비 절감을 위해 경부고속도로 하부의 깊이 40~50m를 통과하도록 노선을 계획하였고, [표 6]과 같이 공사 관리를 위해 시공 구간은 12개 공구로 나누되, 설계나 감리는 1~3개 공구를 묶어 설계 및 전면책임감리용역으로 시행하면서 총사업비 3.06조 원을 들여 약 5년 7개월(공구별로 다름) 동안 건설하였다.

5) SRT 율현터널 시공 시 광역급행철도(GTX-A)에 사용되는 성남역과 용인역을 미리 시공하였음

[표 6] SRT 계약 종류별 공구 구분 현황

(단위: 억 원)

공구	시공사	계약금액	설계업체	감리용역업체	공구	시공사	계약금액	설계업체	감리용역업체
1-1	□□(주)	1,508	(주♡♡)	(주♡♡)	5	■(주)	3,259	(주◀◀)	(주◀◀)
1-2	△△(주)	1,060			6-1	▲▲(주)	973		
2	▷▷(주)	2,344	(주☆☆)	(주☆☆)	6-2	◇◇(주)	948		
3-1	(주▽▽)	1,287			7	(주▶▶)	947		
3-2	◁◁(주)	2,737	(주♣♣)	(주●●)	8	▼▼(주)	1,024	◆◆(주)	(주◎◎)
4	◇◇(주)	1,872			9	◁◁(주)	1,559		

자료: 철도공단 제출자료 재구성

2. 율현터널 현황

가. 율현터널 건설사업 추진 현황

율현터널은 SRT 전체 연장 61.1km 중 82%인 50.3km(서울특별시 강남구 수서동~경기도 평택시)에 이르는 국내 최장 터널로서 12개 공구 중 10개 공구⁶⁾가 해당된다.

율현터널 굴착공사는 2012년 10월부터 2015년 6월(공구별로 다름)까지 시공하였는데, 공사 과정은 [사진 2]와 같이 천공 및 발파, 암반판정, 보강, 콘크리트 타설 및 방수 순서로 진행하였다.

[사진 2] 율현터널 굴착공사 과정



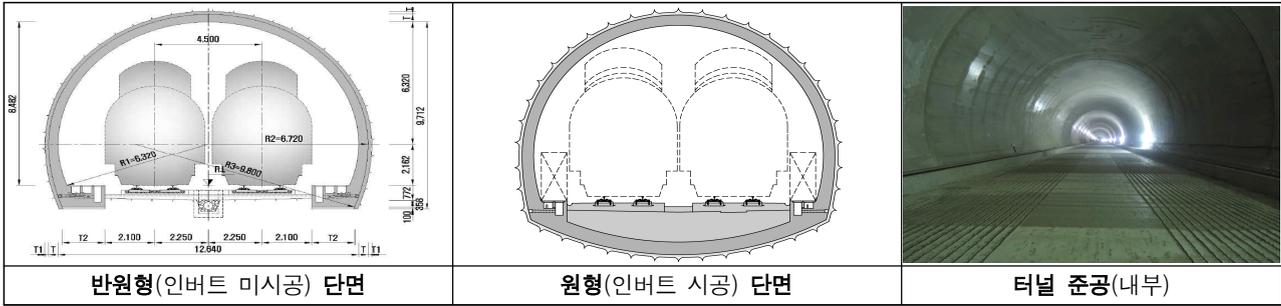
자료: 철도공단 제출자료 재구성

율현터널 시공 단면은 [그림 3]과 같이 암반의 상태가 좋으면 반원형 터널, 암반의 상태가 불량하면 하부에 인버트⁷⁾를 시공하여 원형 터널로 시공하였다.

6) 제1-1공구, 제1-2공구, 제2공구, 제3-1공구, 제3-2공구, 제4공구, 제5공구, 제6-1공구, 제6-2공구, 제7공구이며, 율현터널의 명칭은 터널 기점인 서울특별시 강남구 율현동(행정동인 세곡동에 포함)에서 유래함

7) 터널 바닥에 역(逆) 아치(arch) 형상으로 콘크리트(두께 40cm)를 타설하여 터널을 원형 구조로 만드는 시공방법

[그림 3] 율현터널 시공 단면 비교



자료: 철도공단 제출자료 재구성

나. 신갈 단층을 통과하는 율현터널 현황

신갈 단층⁸⁾은 수도권을 통과하는 가장 큰 단층인 추가령 단층에서 갈라져 나와 수도권 남부를 지나는 단층인데, [그림 4]와 같이 SRT 율현터널 연장(50.3 km) 중 약 26km는 신갈 단층의 중심과 그 주변을 통과하고 있다.

[그림 4] 신갈 단층과 SRT 율현터널

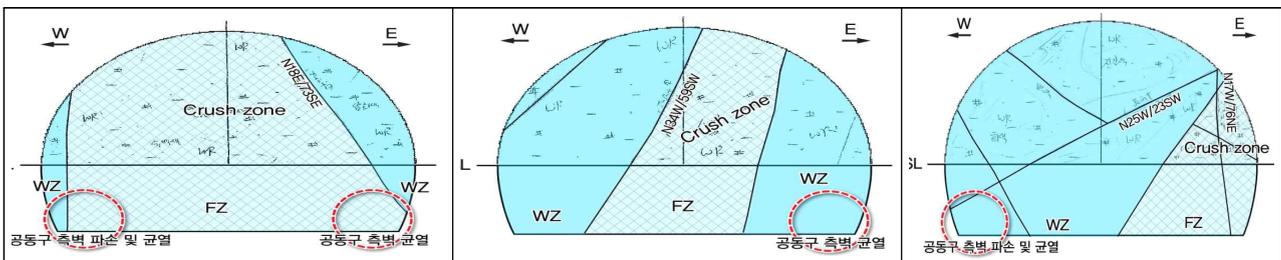


주: 신갈 단층(적색 선)과 SRT 율현터널(청색 선)의 노선이 많이 겹침

자료: 철도공단 제출자료 재구성

특히 율현터널 구간 중 제3-1공구 등 일부 구간은 [그림 5]와 같이 단층작용으로 암반층이 부서진 단층 파쇄대(破碎帶, Crush Zone)의 중심을 통과하고 있다.

[그림 5] 율현터널(제3-1공구) 굴착 단면 내 단층 파쇄대 위치



자료: 철도공단 제출자료 재구성

으로서 터널 보강 중 최강의 터널 보강방법임

8) 암반층 등이 절리면을 따라 움직여 불연속성의 층이나 균열이 생긴 것으로서 외부 힘에 저항하는 능력이 작음

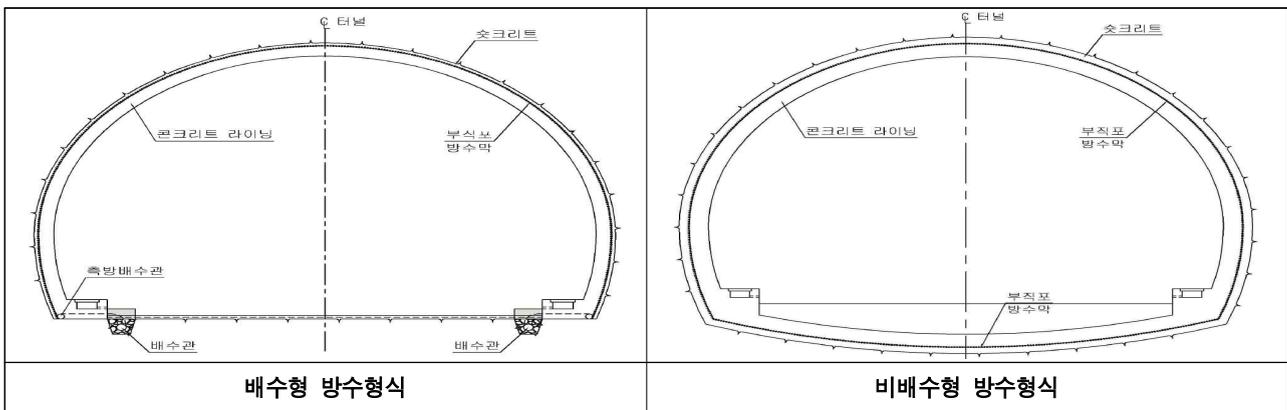
3. 철도터널의 배수 방법

가. 배수형식의 구분

철도터널이 지하수위 아래에 위치하는 경우 터널로 유입되는 지하수를 배수(排水) 처리해야 하는데, 터널의 지반조건과 지하수 상태 및 유지관리의 용이성 등을 고려하여 배수형식을 선정한다.

터널의 배수형식은 지하수의 처리방법에 따라 [그림 6]과 같이 터널로 유입시켜 지하수를 배수하는 ‘배수형(排水形) 방수형식’과 지하수가 터널 내부로 유입될 수 없도록 차단하는 ‘비배수형(非排水形) 방수형식’으로 구분된다.

[그림 6] 철도터널 배수형식의 종류

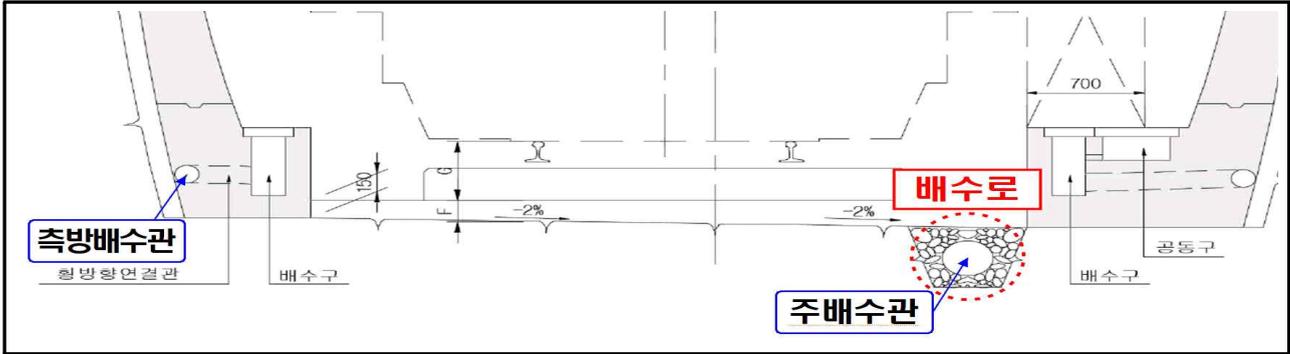


자료: 철도공단 제출자료 재구성

나. 배수형 방수형식 터널의 배수시설

배수형 방수형식(울현터널 적용 형식) 터널의 경우 [그림 7]과 같이 터널 하부 지반을 통해 유입되는 지하수는 바닥부의 중앙 또는 양쪽 측면의 주배수관(지름 200mm 이상)과 쇄석(碎石, 암석을 파쇄한 골재)의 맹암거(盲暗渠)로 배수하고, 콘크리트 라이닝 측벽을 통해 유입되는 지하수는 측벽에 설치하는 측방배수관(지름 100mm 이상)과 배수구로 배수한다.

[그림 7] 배수형 방수형식 터널의 배수시설(단선터널의 경우)



자료: 철도공단 제출자료 재구성

이 중 바닥부의 주배수관은 [그림 8]과 같이 배수관 벽면에 다수의 작은 구멍이 뚫린 유공관(有孔管)을 사용하여 지하수를 관 내로 모을 수 있고, 터널 설계 시 유입되는 지하수의 용량을 산정하여 이에 따라 주배수관의 크기(지름)를 결정하며 주배수관 주변에 쇠석을 포설하여 배수 단면을 만드는 맹암거 형태로 시공하는데 이를 통칭하여 ‘배수로’라 한다.

[그림 8] 배수로의 시공형태



자료: 철도공단 제출자료 재구성

Ⅲ. 감사결과

1. 감사결과 총괄

감사결과 [표 7]과 같이 5건의 위법·부당사항 및 제도 개선사항을 확인하였다.

[표 7] 지적사항 총괄

(단위: 건)

구분	합계	주의	통보
건수	5	2	3

감사결과 확인된 주요 문제점은 다음과 같다.

주요 감사결과

- SRT 율현터널에서 시공 시 최적의 단면 보강공법으로 시공하지 아니하여 개통 후 용기가 발생, SRT 열차가 감속운행(90~170km/h)하는 등 열차의 정상 운행에 차질 초래
 - ▶ (SRT 율현터널 시공 및 용기 억제대책 부적정) 단층 파쇄대를 통과하는 율현터널 구간 시공 시 암반판정 필수절차[지질강도정수(GSI) 평가 등]를 미이행하여 적정한 용기 억제대책 누락, 개통 이후 해당 구간에 용기가 발생, 심화되고 있는데도 근본적 보강대책 미마련
 - ▶ (철도전문시방서 상 터널 바닥부 여굴 처리방법 부적정) 철도터널 구간의 암반 상태에 따른 배수로 여굴 처리기준을 마련하지 않은 채 율현터널 배수로 여굴부를 쇄석으로 채워 터널 공동구 균열 등 손상 심화 초래
 - ▶ (궤도틀림 점검 결과에 따른 속도제한 미실시) 율현터널 용기 발생 구간에 대한 궤도틀림 측정 결과를 유지보수시스템에 입력하지 않는 등 궤도틀림 측정·관리업무를 소홀히 하여 적정 속도제한 미실시

이와 관련하여 철도공단 이사장에게 감리용역업체 및 감리단장 등에 대하여 「건설기술 진흥법」에 따라 벌점 부과 등의 적정한 제재를 하고, 율현터널의 추가 용기 발생 등 열차 운행의 안전성 저하에 대비하기 위한 근본적인 보강방안을 마련하도록 하는 한편, 노반 용기 발생 구간 중 배수로 여굴을 쇄석으로 채운

것으로 확인된 구간에 대하여 보강방안을 마련하고, 국토부장관과 협의하여 철도 터널 굴착공사 시 지반조건이 불량한 곳의 배수로 여굴에는 강성과 배수기능을 모두 갖춘 재료로 채우도록 하는 기준을 철도전문시방서에 정하고 해당 시방기준을 공사시방서에 반영하는 방안을 마련하도록 통보하였다.

또한 철도전문시방서 승인·고시권자인 국토부장관에게 철도공단 이사장과 협의하여 철도터널 굴착공사 시 지반조건이 불량한 곳의 배수로 여굴에는 강성과 배수기능을 모두 갖춘 재료로 채우도록 하는 기준을 철도전문시방서에 정하는 방안을 마련하도록 통보하였다.

그리고 철도공사 사장에게 앞으로 궤도검측차 점검결과 궤도틀림이 속도제한 기준치를 초과했는데도 선로지침에 따라 속도제한을 하지 않고 열차를 운행하는 일이 없게 관련 업무를 철저히 하도록 주의요구하는 등 총 5건을 처분요구(주의) 및 통보하였다.

2. 율현터널 궤도 융기 및 바닥 배수로 여굴 처리 실태

가. 율현터널 궤도 융기 측면

1) 율현터널의 궤도 융기 형태

율현터널은 2016년 12월 SRT가 개통한 이후 2개월 만인 2017년 2월부터 수서 기점⁹⁾ 18.250km 지점(개통 후 관리 측점으로는 18.050km)의 전·후 구간(제3-1 공구에 해당)에서 신갈 단층대 암반의 압착 거동¹⁰⁾으로 인하여 지반상태가 취약한 율현터널의 바닥이 위로 솟아오르는 융기 현상이 발생하기 시작하였다.

9) 이하 감사보고서에서의 지점은 시공 시 적용한 수서 기점을 기준으로 표시함(개통 후에는 기점을 0.2km 이동)

10) 암반이 터널을 중심쪽으로 압착하면서 움직이는 현상

울현터널 용기¹¹⁾는 [표 8]과 같이 2017년 12월 용기량 30mm를 초과한 구간의 연장이 45m였고 최고 용기량이 단순 보수 범위(56mm)¹²⁾ 내인 47mm에 불과하였으나 2020년 6월에는 용기량 30mm를 초과한 구간의 연장이 460m, 최고 용기량이 제3-1공구에서 189mm(다른 공구는 단순 보수 범위)까지 확대 및 증가되었다.

[표 8] 울현터널 용기(30mm 초과) 발생 현황

기준일	용기 발생량	계	제3-1공구	제3-2공구	제4공구
2017년 12월	30mm 초과 용기 연장(m)	45	45	-	-
	최고 용기량(mm)	47	47	24	-
2019년 12월	30mm 초과 용기 연장(m)	389	267	108	14
	최고 용기량(mm)	146	146	44	37
2020년 6월	30mm 초과 용기 연장(m)	460	318	124	18
	최고 용기량(mm)	189	189	49	40

자료: 철도공단 및 철도공사 제출자료 재구성

울현터널 내 용기가 가장 심한 제3-1공구의 용기 발생 형태는 터널 바닥(궤도) 318m(2020년 6월 기준 30mm 초과 용기 연장) 전체가 동시에 용기된 것이 아니라 18.250km 지점(경부고속도로 기휴계소 서울방향 입구부 지하) 터널 바닥(궤도)에서 용기가 발생하자 넓은 범위로 함께 변형하는 철도 레일의 특성상 주변부가 같이 따라 올라와 바닥이 [별표 1] “울현터널(제3-1공구) 궤도(레일) 용기 형태”와 같이 가운데가 볼록한 형태를 띠게 되었다.

2) 용기 발생 구간의 보수·보강 및 용기 억제대책

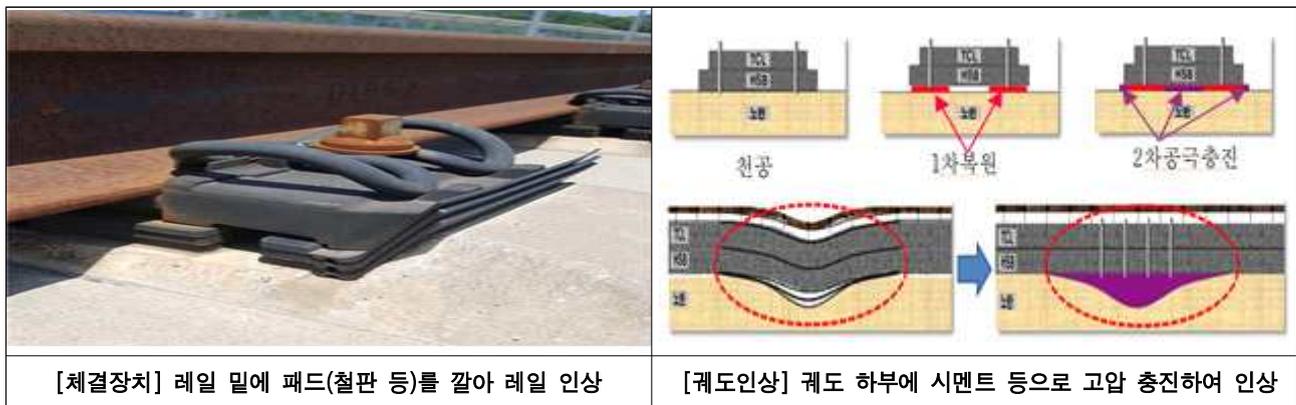
용기 발생 구간에 대한 긴급 보수·보강방법은 솟아오른 레일이 급격하게 요철(凹凸)되지 않고 완만한 선로 기울기¹³⁾가 되도록 유지관리하는데, [그림 9]와

11) 철도터널에서는 터널 바닥 용기를 허용하지 않기 때문에 용기 높이에 대한 허용치가 없음

12) 56mm 높이까지는 레일 밑에 패드를 깔아 레일을 인상시키는 보수방법(체결장치)으로 보수 가능

같이 최고 용기부를 중심으로 양쪽 레일 밑에 소모품인 패드(1~56mm¹⁴)까지만 가능)를 깔아 레일을 인상시키는 방법(체결장치)과 콘크리트 궤도 하부에 시멘트 등을 채워 레일을 인상시키는 방법(궤도인상)을 사용하고 있으나, 용기가 지속적으로 발생할 때는 별도의 용기 억제대책을 시행해야 한다.

[그림 9] 궤도 용기부 주변 레일 인상(보수) 방법



자료: 철도공단 제출자료 재구성

용기 억제대책 중 가장 확실한 대책은 터널 바닥에 인버트를 시공하는 것인데, 준공 후 열차가 운행 중일 때는 인버트 시공에 제약이 있으므로 암반 상태가 불량한 곳은 굴착공사 중 미리 인버트를 시공할 필요가 있다.

그러나 SRT 율현터널 시공 중에는 예산절감 및 공기단축을 위해 전체 연장 50.3km의 11.05%인 5.557km(7개 공구의 합계)에만 인버트를 시공하였는데, 인버트가 시공된 곳에는 단층대의 압착 거동에도 불구하고 용기가 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

용기가 30mm를 초과하여 발생한 3개 공구(제3-1공구, 제3-2공구, 제4공구)를 대상으로 인버트 시공 현황을 비교해보면 [표 9]와 같이 용기가 가장 심한 제

13) 선로는 연장 20m 단위에서 높낮이 차이가 14mm 미만이 되도록 유지관리(용기지점을 중심으로 양쪽 레일을 인상하여 레일의 높낮이를 줄여 완만하게 함)
 14) 기술적으로는 56mm 높이까지 가능하나, 현장에서는 안전성 등을 고려하여 30mm까지의 보수에 주로 사용(이에 따라 철도공단은 30mm를 초과하는 용기가 발생한 3개 공구에 대해서는 향후 용기 억제대책을 적용할 예정임)

3-1공구에 인버트가 가장 짧은 연장으로 시공되어 있었다.

[표 9] 공구별 인버트 설치 현황

(단위: m)

구분	제3-1공구		제3-2공구		제4공구		
	연장	위치(지점)	연장	위치(지점)	연장	위치(지점)	
공구 전체	5,685		5,911		5,102		
	14.700~20.385km		20.385~26.296km		26.296~31.398km		
인버트 시공	소계	연장	4개소	소계	2개소	6개소	
	269	56	14.884~14.940km	1,901	(지점 표기 생략)	1,807	(지점 표기 생략)
		152	18.567~18.719km				
		10	18.765~18.775km				
		51	18.862~18.913km				

주: 1. 위치(지점)는 공사 시 기준 수서 기점 거리(측점)임

2. 제3-1공구의 경우 2013년 8월 변경된 “보강공법 선정기준”을 따르지 않고 기존 기준에 따라 인버트가 시공되었음

자료: 철도공단 제출자료 재구성

그런데 ○○학회는 2020년 1월 제3-1공구의 용기 발생 형태를 고려하여 용기 억제공사의 경우 용기부 318m 전체를 대상으로 시공하지 않고 최고 용기 발생 지점(18.250km)을 중심으로 전·후 35m 구간을 대상으로 우선 공사하더라도 일정 부분 용기를 억제하는 효과가 있을 것으로 판단하여 철도공단 등에 자문하였고, 철도공단과 시공사는 위 35m 구간에 우선 마이크로파일¹⁵⁾을 시공한 후 추가 용기 발생 여부를 모니터링 중이다.

한편 철도공사는 율현터널 궤도 용기 발생으로 SRT 열차에 진동이 심해지자 2018년 11월부터 제3-1공구 중 18.250km 지점 인근의 일부 구간(17.952~19.706km 지점으로 약 2km)은 [표 10]과 같이 수차레 감속운행(230 → 90~170km/h)하는 중이다.

15) 구멍(직경 10.5cm, 깊이 6~10m)을 파고 그 속에 직경 약 5cm의 강봉을 넣은 후 그 사이를 시멘트로 그라우팅하는 방식(1차 보강방법에 강봉을 추가한 형태로서 록볼트 보강이라고도 함)

[표 10] 제3-1공구(18.250km 지점 인근) 주요 감속운행 현황

(단위: km/h)

회차	적용 일자	열차 진동 발생 여부	최고 속도	비고
1차	2018. 11. 26.	○	230 → 170	1차 보수 및 시험시공(용기량 63mm)
2차	2019. 2. 22.	○	170 → 90	2019. 2. 23. 속도 170으로 상향
3차	2019. 3. 6.	○	170 → 90	2019. 3. 21. 속도 170으로 상향
4차	2019. 3. 25.	○	170 → 90	2019. 4. 5. 속도 170으로 상향
5차	2019. 4. 5.	○	170 → 90	2019. 8. 16. 속도 170으로 상향
6차	2020. 3. 4.	○	170 → 90	2020. 5. 1. 속도 170으로 상향
현재	2020. 6. 27.	-	170	3차 보수보강 후 모니터링 중(용기량 189mm)

주: 해당 구간은 선로조건에 따라 실제 운행 가능 최고 속도는 230km/h이고 제한속도 코드(300, 230, 170, 90km/h)에 따른 제한속도는 300km/h임

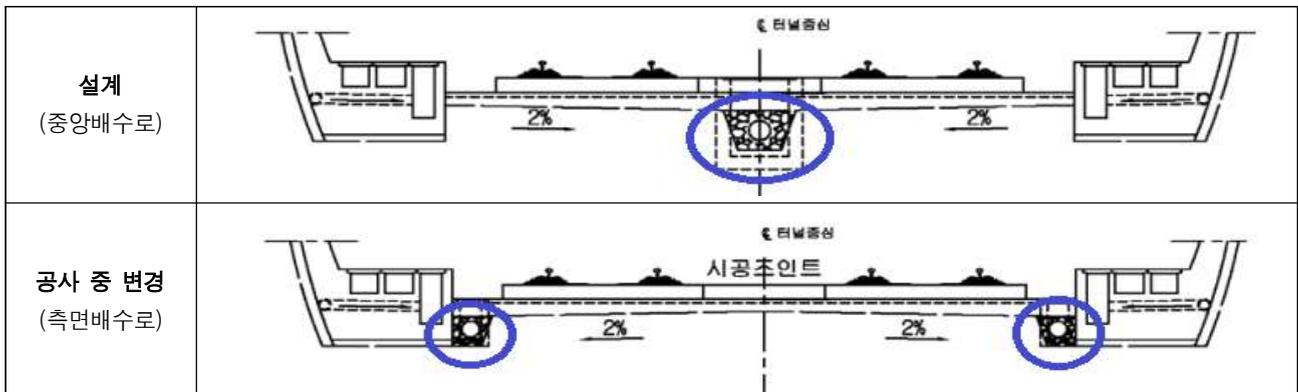
자료: 철도공단 및 철도공사 제출자료 재구성

나. 율현터널 바닥부 배수로 여굴 처리 측면

1) 율현터널의 배수형식과 배수로 위치

율현터널은 터널로 유입되는 지하수를 배수시키는 배수형 터널로서 [그림 10]과 같이 당초 중앙배수로로 설계하였으나 시공 중 보조도상콘크리트의 반폭 시공 등을 통해 공사 기간을 줄이기 위해 제3-1공구 등 대부분의 공구는 배수로의 위치를 중앙에서 양쪽 측면으로 변경하여 시공하였다.

[그림 10] 율현터널의 배수로 위치



자료: 철도공단 제출자료 재구성

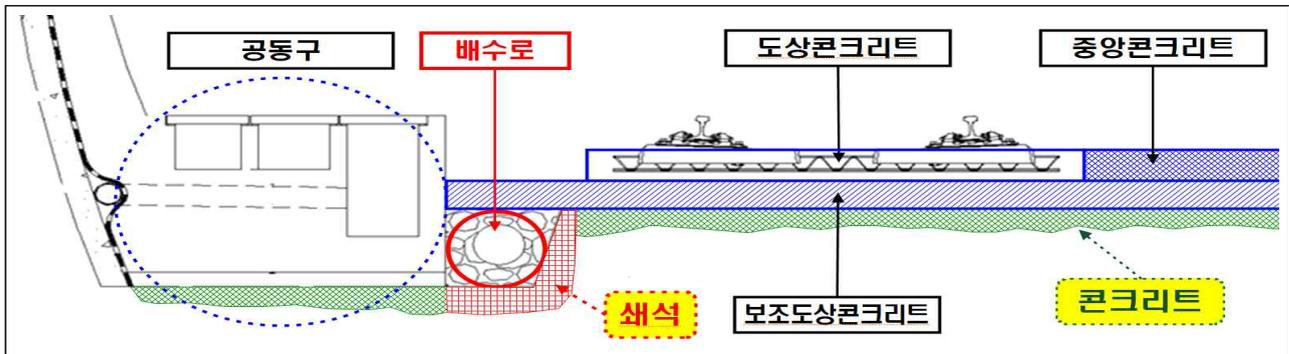
2) 율현터널 바닥부 여굴 처리

터널 굴착공사 시 발파 등으로 암반을 굴착하면서 천장부와 측벽부 및 바닥

부 등 터널 단면 전체에 불가피하게 설계도면의 터널 계획면보다 더 크게 굴착된 공간이 생길 수 있는데 이를 ‘여굴’이라 한다.

울현터널의 경우 2015년 상반기에 바닥부(궤도, 공동구, 배수로로 구성)에 여굴이 발생하자 ‘터널 바닥부 안정성 검토’ 용역을 실시하였고 용역결과를 토대로 [그림 11]과 같이 장기적인 고속열차의 반복하중과 불균질한 바닥부의 부등침하로 인한 도상콘크리트의 균열 및 궤도틀림 등을 방지하여 고속열차 주행의 안정성을 향상시킬 목적으로 궤도와 공동구 부분에 발생한 여굴에는 콘크리트를 타설하였고 배수로 부분에 발생한 여굴에는 터널 하부 원지반의 지하수를 원활하게 배수시키기 위해 쇄석을 채워 시공하였다.

[그림 11] 울현터널 바닥부 여굴(쇄석 채움) 시공도



자료: 철도공단 제출자료 재구성

다. 감사초점 및 판단기준

이번 감사에서는 울현터널 궤도 융기의 원인을 분석하여 근본적인 보강 등 적절한 조치방안을 마련하도록 하는 데 감사의 초점을 두었다.

이에 다음과 같이 판단기준과 점검방법을 설정하였다.

【감사초점 및 판단기준】

【감사초점】	① 율현터널 설계·시공의 적정성 ② 율현터널 보수·보강 등 안전관리의 적정성
【판단기준】	① 율현터널의 암반 상태(신갈 단층 파쇄대)에 맞는 공법이 설계·시공되었는지 ② 율현터널에 용기 발생 후 근본적인 보강공법이 적용되었는지 ③ 율현터널 배수로 여굴에 쇄석을 채우는 방법이 터널에 손상을 주었는지
【점검방법】	① 시공 중 암반판정이 적정하게 이루어졌는지 점검 ② 율현터널 용기 발생 원인 및 근본적인 보강방법에 대하여 ○○학회에 자문 의뢰 ③ 용기 발생 후 보강 현황 분석 및 전문가 자문 ④ 배수로 여굴 시추조사 및 여굴과 터널 손상의 관계 수치해석

3. 감사결과 확인된 문제점

- SRT 율현터널 시공 시 암반판정 필수절차를 미이행하거나 암반판정위원회 평가위원을 부족하게 구성하여 개통 전 적절한 용기 억제대책이 누락, 개통 후 해당 구간에 용기가 발생하여 심화되고 있는데도 근본적인 보강대책 미적용(“가항”)
- 율현터널 암반 상태에 따른 배수로 여굴 처리기준 마련 없이 배수로 여굴을 쇄석으로 채워 열차 진동이 증가하여 공동구 균열 등 터널에 손상 심화(“나항”)
- 용기 발생 구간에 대하여 궤도검측차로 궤도틀림을 점검하고도 유지보수시스템에 미입력하여 적절한 속도제한조치 미이행(“다항”)

가

율현터널 시공 및 용기 억제대책 부적정

1) 업무 개요

가) SRT 건설사업 추진 경과

철도공단은 철도건설법 제8조 등에 따른 철도건설사업 시행자로서 [표 11]과 같이 12개 공구의 각 시공사와 계약을 맺어 SRT 건설사업(연장 61.1km, 총사업비 3.06조 원)을 시행하고 2016. 12. 9. SRT를 개통하였다.

[표 11] SRT 공구별 공사 현황

(금액단위: 억 원)

공구	시공사	계약금액	착공일~준공일	공구	시공사	계약금액	착공일~준공일
1-1	□□(주)	1,508	'12. 1. 3.~'17. 3. 31.	5	■(주)	3,259	'12. 7. 25.~시공 중
1-2	△△(주)	1,060	'12. 1. 13.~일시중지	6-1	▲▲(주)	973	'12. 1. 3.~'16. 12. 20.
2	▷▷(주)	2,344	'12. 1. 3.~'17. 11. 30.	6-2	◇◇(주)	948	'12. 1. 3.~'16. 12. 20.
3-1	(주)▽▽	1,287	'12. 1. 3.~'16. 12. 20.	7	(주)▶▶	947	'12. 1. 3.~'16. 12. 20.
3-2	<<(주)	2,737	'12. 1. 3.~'17. 11. 30.	8	▼▼(주)	1,024	'12. 1. 3.~'16. 12. 20.
4	◇◇(주)	1,872	'11. 5. 27.~'16. 11. 30.	9	<<(주)	1,559	'11. 5. 27.~'16. 12. 20.

주: 제1-2공구 및 제5공구의 경우 SRT의 본공사는 완료하였고 주변 정리작업이 완료되지 않았음

자료: 철도공단 제출자료 재구성

나) SRT 노선 현황

SRT는 서울특별시 강남구 수서동에서 경기도 평택시까지 연장 61.1km의 고속 철도로 운행(2019년 연간 44,005회 운행)되고 종점에서 경부고속철도와 연결되어 이용자가 전국으로 이동할 수 있으며, 2024년 광역급행철도(GTX-A, 파주~삼성~수서~동탄) 개통 시 SRT의 수서~동탄 노선을 함께 이용할 계획이다.

SRT 연장(연장 61.1km)의 82%인 50.3km는 율현터널(수서~지제) 구간이고, [그림 12]와 같이 율현터널의 약 26km¹⁶⁾는 단층 작용으로 암반층이 부스러진 파쇄대(破碎帶, Crush Zone)의 중심¹⁷⁾과 주변 지역을 통과하고 있다.

[그림 12] 단층 파쇄대 중심을 통과하는 SRT 율현터널 현황



자료: 철도공단 제출자료 재구성

특히 SRT의 제3-1공구는 [그림 13]과 같이 율현터널 내 수서 기점 14.700~

16) 단층대 중심을 통과하는 제2공구 일부부터 제3-1공구, 제3-2공구, 제4공구까지 약 18km와 단층대 주변 지역을 통과하는 제5공구부터 제6-1공구까지 약 8km의 합계

17) 지반조사(200m 간격 시추) 및 실시설계보고서(2011년 7월)에 따르면 율현터널 18km 지점 인근에는 단층 또는 파쇄대가 있어 암반 상태가 불량할 것으로 판단함

20.385km의 총 5.685km 구간(분당선 정자역 인근~구성역 인근)으로 위 단층(신갈 단층) 파쇄대의 중심에 위치하고 있고, 개통(2016년 12월) 2개월 후부터 용기 현상이 발생(2020년 6월 기준 최고 189mm)하여 2018년 11월부터 SRT 열차가 감속운행(최고 속도 230km/h → 90~170km/h) 중인 구간이다.

[그림 13] 제3-1공구의 용기 발생 및 감속운행 구간 등 개요도



자료: 철도공단 제출자료 재구성

2) 율현터널(제3-1공구) 굴착공사 시 보강공법 선정 부적정

가) 관계규정 및 판단기준

가-1) 터널 굴착공사의 주요 절차

터널 굴착공사는 [사진 3]과 같이 착공 및 장약을 하여 발파한 후 암반(巖盤)판정¹⁸⁾에 따라 단면보강 및 라이닝 여부 등을 결정하여 시공하고 내부시설을 설치하는 순서로 진행된다.

[사진 3] 터널 시공 주요 절차도



자료: 철도공단 제출자료 재구성

이 중 암반판정은 토질·기초, 지반 분야 등의 전문가가 터널 굴착으로 확인된

18) 터널 굴착공사의 설계·시공현장에서는 ‘암판정’이라는 용어로 사용되나, 감사보고서에서는 용어의 이해를 위해 ‘암반판정’으로 바꾸어 기재함

막장면의 실제 암반 상태를 설계 시 조사된 상태와 비교·평가하여 당초 설계된 단면 보강공법대로 시공할지 또는 암반에 붕괴 등의 위험이 있어 단면을 추가로 보강할지 등을 결정하는 행위로서 터널 시공의 안전성에서 중요한 절차이며, 감리용역 업체가 암반등급(이하 “RMR”이라 한다)¹⁹⁾ 평가방법 등을 시공기준으로 적용하여 결정한다.

가-2) 제3-1공구의 터널 안정성 강화를 위해 암반판정 기준 세분화

철도공단은 2011. 7. 11. 주식회사 ☆☆ 외 2개 감리용역업체²⁰⁾와 “SRT(구 수도권고속철도) 제3-1공구(제2공구 포함) 전면책임감리용역” 계약(최종 계약금액 89억여 원)을, 2011. 12. 30. 주식회사 ▽▽ 외 3개 시공사(이하 “시공사”라 한다)와 “SRT(구 수도권고속철도) 제3-1공구 노반신설 기타공사” 계약(최종 계약금액 1,287억여 원)을 각각 맺었다.(제3-1공구 준공일은 2016. 12. 20.)

철도공단은 율현터널 굴착공사²¹⁾ 중인 2013. 4. 19. 18.770km 지점²²⁾의 터널 안쪽에서 발생한 변위(내공 변위)에 대하여 2013. 4. 29. 제3-1공구 감리용역업체(감리단장 A)와 시공사(현장대리인)로부터 SRT 자문회의²³⁾ 결과에 따라 내공 변위²⁴⁾가 발생한 원인이 기초부(바닥부) 지지력 부족 등이므로 터널 안정성 검토 후 보강할 필요가 있다는 보고를 받았다.

19) Rock Mass Rating으로서 암석강도 등의 요소로 암반의 상태를 5개 등급(100점 만점 중 20점 간격이고, 20점 이하는 암반 상태가 ‘매우 불량’에 해당함)으로 평가([별표 2] “RMR 평가표 서식” 참조)

20) 공사현장에는 감리용역업체의 대리자로서 감리업무를 총괄하는 책임감리원(책임건설사업관리기술인)인 “감리단장”이 있고, 현장에 상주하지 않으면서 감리단장의 요청에 따라 전문적인 업무를 지원하는 비상주 감리원(기술지원 건설사업관리기술인)이 있음

21) 제3-1공구의 경우 굴착공사는 2012. 10. 30.부터 2015. 5. 5.까지 시행하였고, 수직구 6번(18.933km 지점)에서 수서와 평택 양쪽 방향으로 동시에 터널 굴착 실시

22) 최고 용기 발생지점(시공 시 기준 18.250km 전·후) 약 520m 앞의 지점

23) 시공사와 감리용역업체 주관으로 공사현장에서 SRT 터널안전관리자문단 등의 자문회의를 실시(2013. 4. 25., 2013. 7. 3. 2차례)

24) 2013. 4. 19. 터널 안쪽의 변위(내공 변위)가 공사현장에서 안전관리를 위해 자체적으로 정한 기준인 계측관리 기준(15mm)을 초과하는 48mm만큼 발생(같은 해 6. 14. 최고 67mm까지 증가)

그리하여 철도공단은 2013. 5. 2. 터널 굴착의 안정성을 검토하도록 감리용역업체에 지시하였으며, 시공사는 감리용역업체의 지시를 받아 터널 안정성 검토 용역을 시행하여 2013. 6. 25. 감리용역업체에 “터널 안정성 검토보고서”를 제출하면서 자문회의 개최를 요청하였고, 감리용역업체는 이를 발주청인 철도공단에 보고하였다.

이에 철도공단은 2013. 8. 5. 「현장설계변경심의위원회 운영지침」(철도공단) 제5조 등에 따라 현장설계변경심의 소위원회(내·외부 전문가 10명)를 개최하여 “터널 안정성 검토보고서”²⁵⁾를 토대로 [그림 14]와 같이 암반 상태가 매우 불량(V등급)한 RMR 20점 이하인 경우에 대해 기존 방법보다 더 정확하게 암반판정을 하기 위해 추가로 RMR(★)²⁶⁾를 산정하고 그 점수가 13점 이하이면 지질강도정수(이하 “GSI”라 한다)²⁷⁾ 평가를 하여 그 GSI 점수에 따라 최종 보강공법을 정하도록 기준(이하 “보강공법 선정기준”이라 한다)을 세분화[기존: RMR 1단계→변경: RMR, RMR(★), GSI 등 3단계]하는 것으로 시공기준을 변경하였다.

그리고 철도공단은 터널의 보강공법(지보 패턴)도 기존 실시설계에서 RMR에 따라 7개²⁸⁾로 분류한 것을 9개로 세분화하였고 2013. 8. 13. 감리용역업체에 “보강공법 선정기준”을 적용하도록 통보하였다.

25) 신갈 단층의 영향으로 형성된 단층 파쇄대로 인하여 터널 막장면이 전반적으로 심하게 풍화되어 있고 절리면 내에 점토 충전물이 다량 포함되어 있어 굴착 구간의 RMR이 모두 20점 이하로 평가되는 등 설계 당시 예측한 것보다 매우 불량한 지반조건인데도 설계되어 있는 단면 보강공법(지보 패턴)이 부적정하여 내공 변위 발생

26) RMR 점수에서 암반의 변형계수(암반의 강도 산정 시 활용하는 계수)와 큰 상관성이 없는 “지하수 상태 점수”와 “절리 방향에 따른 보정 점수”를 제외한 점수[실제는 RMR*로 표시하고 RMR Star라고 부르나 감사보고서에서는 쉽게 구분할 수 있도록 RMR(★)로 기재형식을 바꿈]

27) Geological Strength Index로서 RMR이 20점 이하인 매우 불량한 암반은 RMR 점수로는 보강공법(예, 제3-1공구의 경우 3개 공법)을 객관적으로 선정할 수 없어 이를 보완한 평가 방법으로서 암반 구조와 표면상태에 따라 평가함([별표 3] “GSI 평가표” 참조)

28) 제3-1공구 실시설계에 따르면 암반판정위원회가 산정한 RMR 점수에 따라 20점 초과는 PD-1, PD-2, PD-3, PD-4로 분류되고, 20점 이하(암반 상태가 매우 불량한 곳)는 PD-5, PD-6, PD-6-1(풍화토)로 분류되는 등 총 7개 보강공법으로 분류(PD는 Pattern Double로서 복선터널의 보강공법 패턴을 뜻함)

[그림 14] 제3-1공구 “보강공법 선정기준” 비교

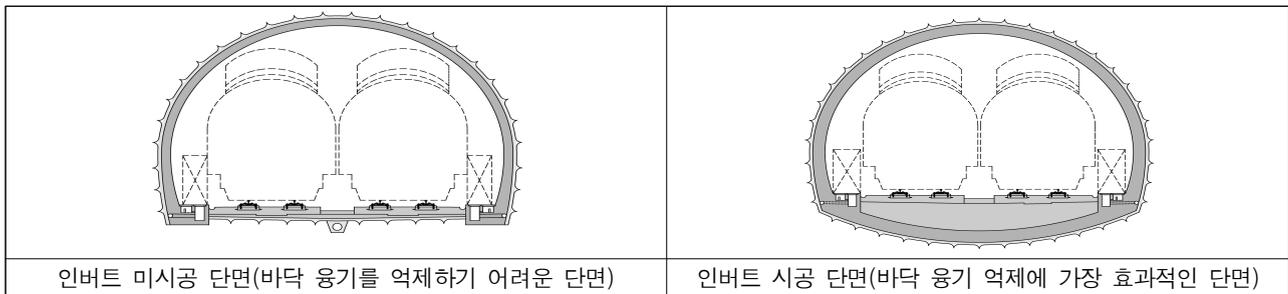
【기존 기준(실시설계, 2011년 7월)】		【변경 기준(설계변경, 2013년 8월)】	
RMR 5개 등급 평가	단면 보강공법(7개)	RMR 5개 등급 평가	단면 보강공법(9개)
I ~ IV등급	PD-1~PD-4 (일반보강)	I ~ IV등급	PD-1~PD-4, PD-5(일반보강)
V 등급 (RMR 20점 이하)	PD-5, PD-6 (일반보강)	V 등급 (RMR 20점 이하)	PD-5-1(일반보강)
풍화토	PD-6-1 (인버트)	RMR(★) 13점 초과	GSI 평가 32~35점 → PD-6A (일반보강) 27~31점 → PD-6-1A (인버트) 26점 이하 → PD-6-2 (인버트)
		RMR(★) 13점 이하	

주: 단면 보강공법의 단계가 올라갈수록 라이닝 두께와 터널 측면·하부의 그라우팅, 인버트 등이 강화됨
 자료: 철도공단 제출자료 재구성

가-3) 제3-1공구의 암반판정 시 “보강공법 선정기준” 적용 필요

감리용역업체(감리단장 A)는 2013. 9. 11. 철도공단에 현장설계변경소위원회 심의의견 조치결과를 보고하면서 터널 안쪽에 변위가 발생한 18.770km 지점에는 기존의 보강공법 PD-5 대신에 [그림 15]와 같이 인버트²⁹⁾를 시공하는 보강공법인 PD-6-2³⁰⁾로 변경 시공(18.765~18.775km 지점, 연장 10m)하고, 앞으로 굴착공사 시 보강공법을 선정할 때는 RMR 20점 이하인 경우 RMR(★) 및 GSI 평가를 적용하여 터널의 안전성을 충분히 확보하겠다고 하였다.

[그림 15] 인버트 시공 단면과 미시공 단면 비교



자료: 철도공단 제출자료 재구성

29) 터널 바닥에 역(逆) 아치(Arch) 형상으로 콘크리트(40cm)를 타설하여 터널을 원형 구조로 만드는 시공 방법으로서 터널 보강 중 보강 강도가 가장 높은 단계의 보강방법
 30) 최초 설계된 보강공법인 PD-4를 2013년 2월 암반판정에 따라 PD-5로 설계변경(2013년 5월)한 후 붕괴 위험이 있어 공사를 중지한 구간(연장 121m) 중 변위의 중심부(10m)는 PD-6-2(인버트)로 재차 설계를 변경함

그리고 「건설기술 진흥법」 제39조 및 같은 법 시행령 제59조 제3항 제9호에 따르면 감리용역업체는 설계변경에 관한 사항을 검토 및 확인하도록 되어 있고, “SRT 제3-1공구 전면책임감리용역 계약” 과업 내용(4-가-1) 및 「책임감리 현장 참여자 업무지침서」³¹⁾(구 국토해양부 고시) 제26조 등에 따르면 감리용역업체(감리원)는 철도공단의 각종 규정, 절차서 및 시방서 등을 준수하여 감리업무를 수행하며, 발주청의 각종 지시, 통보사항 등을 숙지하고 철저히 이행하도록 되어 있다.

따라서 감리용역업체는 철도공단이 통보(지시)한 “보강공법 선정기준”에 따라 암반의 RMR이 20점 이하인 경우 RMR(★) 및 GSI 평가를 하여 보강공법을 선정하여야 했다.

나) 감사결과 확인된 문제점

나-1) “보강공법 선정기준”을 적용하지 않아 인버트 시공 제외

그런데 감리용역업체는 “보강공법 선정기준” 적용시점(2013년 8월) 이후인 2014. 1. 8. 시공사로부터 18.216~18.276km 지점³²⁾(연장 60m)에 대한 암반판정을 요청(철도전문시방서 암판정지침 제4조)받아 감리단장 A는 암반판정위원장으로서 같은 해 1. 10. 암반판정위원회(평가위원 4명 중 3명만 구성)를 소집하여 암반판정(철도전문시방서 암판정지침 제6조)을 하면서 위 지점의 RMR 점수가 18점인데도 RMR(★)와 GSI 평가를 실시하지 않고 기존의 기준대로 RMR 방법으로만 평가³³⁾하여 PD-6A(일반보강)로 결정한 후 같은 해 1. 17. 철도공단에 보고³⁴⁾하고

31) 고시의 근거 법령인 「건설기술 관리법」이 「건설기술 진흥법」으로 바뀌면서 관련 규정이 2014. 5. 23. 「건설사업관리 업무지침서」(현 「건설공사 사업관리방식 검토기준 및 업무수행지침」)로 통합됨

32) 현재 SRT 감속운행(170km/h) 구간 내이고, 최고 용기 발생 및 용기 발생 후 마이크로파일을 보강한 지점

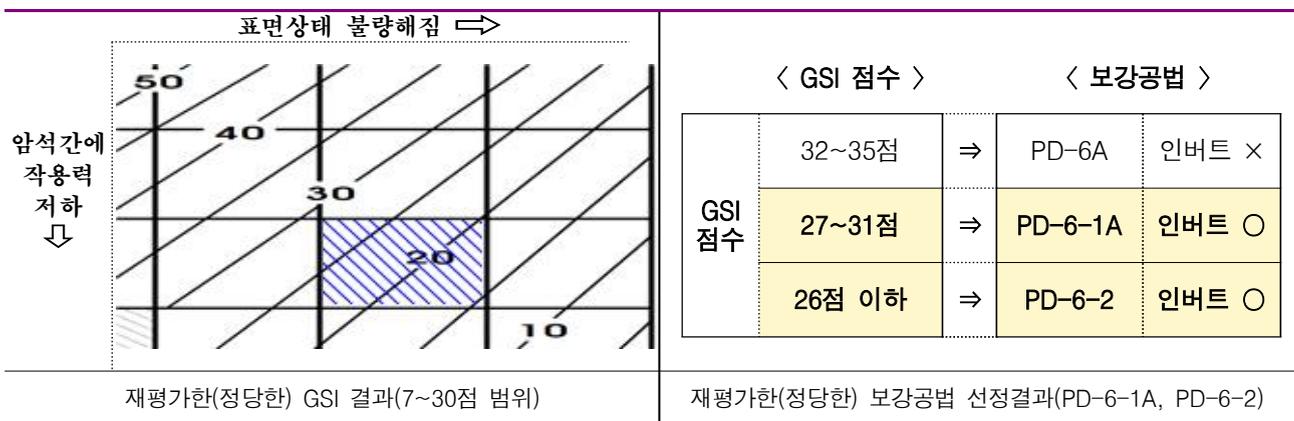
33) 기존 기준에 따라 RMR 점수(18점)에 따라 V등급(매우 불량)으로 결정한 후 암질 상태를 고려하여 보강공법은 변경된 9개 단계 중의 하나인 PD-6A로 선정(2014. 7. 24. 14.940km 지점에 대해서 암반판정을 하면서도 변경 기준을 따르지 않고 기존 기준에 따라 암반판정을 하여 보강공법을 PD-6-1로 선정하였음)

34) 2014. 1. 17. 철도공단에 암반판정 결과를 보고하면서 암반판정위원회에서 이미 결정한 보강공법

시공사로 하여금 PD-6A로 시공하도록 하였다.

이에 대하여 이번 감사원 감사기간(2020. 10. 29.~12. 9.) 동안 18.216~18.276 km 지점(개통 후 최고 융기 발생지점 및 감속운행 지점)에 대하여 “보강공법 선정기준”에 따라 암반판정을 한 결과, RMR(★) 점수(13점) 및 GSI 평가³⁵⁾를 적용할 경우 보강공법은 [그림 16] 및 [별표 4] “울현터널 제3-1공구 보강공법(요약)”과 같이 GSI 점수가 7~30점(평균 20.5점)으로 평가되어 인버트 시공이 포함되는 보강공법인 PD-6-1A 또는 PD-6-2로 선정하는 것이 타당한 것으로 확인되었다.

[그림 16] 제3-1공구의 융기 발생 구간에 대한 GSI 재평가 결과



자료: 철도공단 등 제출자료 재구성

나-2) “보강공법 선정기준” 미적용 경위 및 사유

2013년 4월 제3-1공구의 터널 내 변위 발생을 계기로 터널 안전성을 높이기 위해 철도공단이 2013년 8월 감리용역업체로 하여금 “보강공법 선정기준”을 적용하도록 통보하였는데도 암반판정 시 이를 적용하지 않은 구체적인 경위에 대해 감리용역업체(주식회사 ☆☆), 시공사(주식회사 ∇∇), 철도공단 등의 관련자와

(PD-6A)에 맞게 RMR(★) 13점 및 GSI 점수(34점)를 기재하여 제출하였는데, GSI 점수표는 암반판정 관련 전문지식이 없는 시공사 실무 직원이 임의로 참고자료로 작성하여 감리용역업체 실무자에게 제공한 서류를 함께 첨부·제출하여 이에 따라 철도공단은 “보강공법 선정기준”에 따라 평가가 이루어진 것으로 인식하였음

35) 국토연구원(한국건설기술연구원) 및 국토안전관리원 소속 전문가, 2014. 1. 10. 당시 암반판정위원회 위원 중 GSI 평가를 할 수 있는 평가위원을 대상으로 당시 지반상태(암반판정 검측대장, 암반판정 기록일지 등)를 기준으로 실시한 GSI 평가 결과는 최저 7점, 최고 30점, 평균 20.5점임

당시 암반판정위원회 평가위원 등을 조사³⁶⁾한 결과는 다음과 같다.

시공사는 2014. 1. 8. 18.216~18.276km 지점의 암반 상태가 직전 굴착 지점(보강공법 PD-5-1 적용)보다 더 불량해 보여 당시 설계된 보강공법 PD-2를 인버트 시공이 필요한 보강공법인 PD-6-1A(기존 기준의 PD-6-1에 해당)로 변경할 필요가 있다고 판단³⁷⁾하여 감리용역업체에 암반판정을 요청하였다.

그런데도 암반판정위원장인 감리단장(A)은 2013. 8. 13. 철도공단으로부터 “보강공법 선정기준”을 통보받아 변경된 기준을 알고 있었으나, 2014. 1. 10. 암반판정위원회를 개최하면서 본인은 토질·기초 및 지반 분야 전문가가 아니고 GSI 평가방법을 잘 알지 못한다는 사유로 그동안의 관행대로 다른 평가위원들(비상주 감리원 및 인접 제3-2공구 감리단장)이 “보강공법 선정기준”을 알고 있어 이에 따라 평가할 것으로 생각하여 평가에 직접 관여하지 않고 평가위원들에게 변경된 기준을 알려주지도 않는 등 암반판정위원회 운영업무를 소홀히 하였다.

한편 감리단장 이외의 평가위원들은 2013. 10. 4. 교체된 토질·기초 분야 비상주 감리원³⁸⁾(B)과 인접 제3-2공구 감리단장³⁹⁾(C)으로 구성되었는데 이들은 현장에 상주하지 않고 제3-1공구 암반판정이 있는 날에만 잠시(1시간 이내) 참석하도록 되어 있었고, 암반판정위원장인 제3-1공구 감리단장으로부터 변경된 기

36) 감리단장 등 관련자 8명에 대하여 1~3차례 조사를 하였음. 감리단장은 당시 감리용역업체인 주식회사 ☆☆☆을 퇴사하고 다른 업체(□□주식회사)에 근무하고 있는데 해외 현장에 파견되어 있어 귀국 시점에 맞춰 3차례 조사를 하였음

37) 시공사는 감리용역업체에 암반판정을 요청할 때 자체적인 판단에 따라 보강공법 변경을 요청하고 관련 검측요청서 등 기초 자료를 제공하고 있음

38) 전임 비상주 감리원(D)은 “보강공법 선정기준”이 확정(2013년 8월)되기 전인 2013. 7. 17. RMR 18점인 18.585km 지점에 대해 암반판정을 하면서 미리 “보강공법 선정기준”을 적용하면서 RMR(★) 13점이므로 GSI 평가를 거치면 보강공법 PD-6-1A(인버트)에 해당하고, 기존 기준대로 평가해도 PD-6-1(인버트)에 해당하므로 시공사가 PD-6-1에 맞는 인버트를 시공하도록 암반판정을 하였음. 2013. 10. 4. 비상주 감리원이 B로 교체되면서 “보강공법 선정기준”에 대한 내용이 전달되지 않았음

39) “보강공법 선정기준”은 제3-1공구만 적용되는 기준으로 마련되어 제3-2공구 감리단장은 해당 기준을 알지 못하는 상황이었음

준을 전달받지 못하여 “보강공법 선정기준”을 알지 못한 채 2014. 1. 10. 제3-1 공구 감리단장이 제공하는 자료에 따라 기존 암반판정 방법(RMR만 적용)으로⁴⁰⁾ 평가하였다.

또한 시공사와 감리용역업체 외 “보강공법 선정기준”을 알고 있는 철도공단의 공사관리관은 “3)항”과 같이 2014. 1. 10. 암반판정위원회에 입회하지 아니하여 평가위원들로 하여금 “보강공법 선정기준”을 이행하도록 지도·감독하지 못했다.

위와 같이 관련자 대상으로 한 면담조사 외에도 철도공단과 감리용역업체가 당시 주고받은 문서 및 자료 등을 검토한 결과, 철도공단이 보강공법 선정에 개입하거나 인버트 시공을 제한하도록 하는 내용이 없었고, 18.216~18.276km 지점에 인버트를 시공할 경우에도 공사비가 2.5억여 원에 불과하며 터널 굴착공사 중 변위(붕괴 위험)가 발생한 다른 지점에는 인버트를 시공해왔던 당시 상황 등을 고려할 때 철도공단 또는 감리용역업체(감리단장)가 고의로 인버트 시공을 기피할 요인이나 이해관계 등은 확인되지 않았다.

이러한 상황을 종합할 때 감리용역업체 및 감리단장의 부실한 업무처리로 인해 “보강공법 선정기준”에 따른 GSI 평가 절차 등을 이행하지 않은 것으로 판단된다.

나-3) “보강공법 선정기준” 미적용에 의해 용기 피해 발생

이에 따라 단층 파쇄대의 압착(Squeezing) 거동에 따라 바닥이 솟아오르는 용기 현상 발생을 억제하는 데에 가장 효과적이고 확실한 공법⁴¹⁾인 “인버트”가 시공되지 않아⁴²⁾ SRT 개통(2016년 12월) 후 2개월이 지난 2017년 2월부터 [표

40) 2014. 1. 10.뿐만 아니라 2014. 7. 24. RMR 점수 10점인 14.940km 지점에 대해 암반판정을 하면서도 “보강공법 선정기준”을 적용하지 않고 기존 기준에 따라 암반판정을 하여 보강공법을 선정(PD-6-1)하였음

41) 터널 분야 전문학회인 ○○학회의 용역보고서(2020년 11월)의 용기 발생 원인 분석 결과에 따른 의견임

12]와 같이 제3-1공구 18.216~18.276km 지점(최고 용기 발생지점인 18.250km 지점 전·후)을 중심으로 단층 파쇄대의 압착 거동 등으로 인해 발생하는 용기(2020년 6월 기준 최고 189mm)에 적정하게 대처하지 못하는 결과를 초래하였다.

[표 12] 율현터널 제3-1공구의 용기 발생 현황

측정시기	용기 구분	발생량
2017년 12월	30mm 초과 용기 발생 연장	45m
	최고 용기량	47mm
2020년 6월	30mm 초과 용기 발생 연장	318m
	최고 용기량	189mm

주: “최고 용기량” 발생지점은 18.250km 전·후임(개통 후 관리 지점으로 환산 시 18.050km에 해당)
 자료: 철도공단 및 철도공사 제출자료 재구성

또한 이와 같이 용기 발생으로 인해 [사진 4] 및 [표 13]과 같이 터널 구조물에 허용균열폭(0.3mm) 이상의 균열(연장 6.715km) 등 손상이 발생하게 되었고, SRT 열차도 운행 최고 속도를 230km/h⁴³⁾로 유지하지 못하고 해당 지점 전·후 약 2km는 2018. 11. 26.부터 2020년 12월 현재까지 90~170km/h로 감속⁴⁴⁾하여 운행하게 되었다.

[사진 4] 율현터널의 용기 발생 및 손상 사진



자료: 철도공단 및 ○○학회 제출자료 재구성

42) 굴착공사 중 인버트를 시공할 경우 2.5억여 원의 공사비 필요(여유길이 포함 인버트 95m 시공 조건)
 43) 운행 제한속도는 300km/h이나, 곡선 구간 등 선로조건을 감안한 실제 운행 가능 최고 속도는 230km/h임
 44) 제3-1공구 최고 용기 발생 지점(18.250km) 전·후 약 2km 구간에서 감속운행(2018년 11월부터 2020년 11월까지 6차례 감속운행 조치를 하여 90~170km/h로 운행)

[표 13] 율현터널 제3-1공구 손상(허용균열폭 이상의 균열) 발생 현황

(단위: m, 개소 수)

공구	균열폭	균열 연장 계	도상(보조도상 포함) 균열		배수로 및 공동구 균열	
			개소 수	연장	개소 수	연장
3-1	0.3~1.0mm 미만	5,540.60	5,993	2,973.70	4,816	2,566.90
	1.0mm 이상	1,174.45	375	603.70	1,007	570.75
	소계	6,715.05	6,368	3,577.40	5,823	3,137.65

주: 「콘크리트구조 사용성 설계기준」(국토부) 부록 3.2에 따른 허용균열폭은 0.3mm임
 자료: 철도공단 제출자료 재구성

3) 율현터널 굴착공사 시 암반판정위원회 운영 부적정

가) 관계규정 및 판단기준

“SRT 제3-1공구 전면책임감리용역 계약” 과업 내용(4-가-1) 및 「책임감리 현장참여자 업무지침서」(구 국토해양부 고시) 제26조 등에 따르면 감리용역업체(감리원)는 공단의 제규정, 절차서 및 각종 시방서 등을 준수하여 감리업무를 수행하고, 발주청의 각종 지시, 통보사항 등을 숙지하고 철저히 이행하도록 되어 있다.

그리고 “제3-1공구 실시설계보고서(2011년)” 제5장 및 “지질조사보고서” 제5장 등에 따르면 제3-1공구, 제3-2공구는 신갈 단층대가 노선 선형과 평행하게 있고, 제3-1공구는 단층으로 암질이 불량할 것으로 판단되므로 시공 시 각별히 주의하도록 되어 있는 등 제3-1공구는 취약구간에 해당한다.

한편 철도공단은 2011년 9월 호남고속철도 2터널 붕괴사고(사망 1명)를 계기로 터널의 안전성을 강화하기 위해 2011년 12월 [표 14]와 같이 암반판정위원회 평가위원을 기존 3명에서 4명(지반 분야 기술자 1명 추가)으로, 입회자의 경우에도 기존 2명에서 단층대 등 취약구간에는 철도공단 직원(공사관리관) 등을 포함하여 4명으로 늘리는 것을 주요 내용으로 하여 철도전문시방서의 암판정지침을 개정⁴⁵⁾하고, 2012. 1. 9. SRT 건설사업의 각 공구 감리단장 등에게 위 개정

45) 철도공단이 「건설기술 진흥법」 제44조 및 같은 법 시행령 제65조에 따라 철도전문시방서 등 건설기

지침을 통보하면서 철저히 이행하도록 하였다.

[표 14] 터널의 암반판정위원회 구성 지침 개정 내용

구분	암반판정위원회 구성원			
	개정 전		개정 후(2011년 12월 이후)	
위원장 및 위원	① 감리단장(위원장) ② 인접 공구 감리 ③ 터널 분야 기술자	평가위원 3명	① 감리단장(위원장) ② 인접 공구 감리 또는 직접감독 구간의 감독 중 1인 ③ 토질 및 기초 분야 기술지원 감리원 (필요시 기술사 자격 보유자) ④ 지반 분야 기술지원 감리원(필요시 기술사 자격 보유자)	평가위원 4명
입회자	① 공단 공사관리관 (지원업무수행자) ② 시공사 현장대리인	입회자 2명	① 시공사 현장대리인 ② 계측관리자(감리용역업체) ③ 공단 공사관리관(필요시) ④ 원설계자(필요시)	입회자 2~4명 (필요시)

주: “필요시”는 단층대 등 취약구간에서 암반판정을 할 경우 등에 해당
자료: 철도공단 제출자료 재구성

따라서 신갈 단층대를 통과하는 율현터널 제3-1공구는 “단층대 등 취약구간”에 해당하므로 감리용역업체(감리단장)는 암반판정을 할 때 위 개정된 암판정 지침에 따라 기존 평가위원(3명) 외에 지반 분야 기술자(기술사 자격 보유자) 1명을 추가하여 총 4명의 평가위원으로 암반판정위원회를 구성·운영해야 하고, 철도공단 직원(공사관리관)은 암판정지침에 따라 암반판정위원회에 입회하는 것이 타당하다.

나) 감사결과 확인된 문제점

그런데 제3-1공구 감리용역업체(감리단장)는 터널 공사 기간 중 총 112회 암반판정을 하면서 위 개정된 암판정지침을 제대로 숙지 못하여 암반판정위원회 평가위원을 4명으로 구성하기 위한 조치⁴⁶⁾를 하지 않고 [표 15]와 같이 개정 전 지침대로 지반 분야 기술자를 제외한 평가위원 3명만으로 암반판정위원회를 구

준의 개정(안)을 작성하여 국토부에 승인 요청하면 국토부는 한국건설기술연구원에 자문, 중앙건설기술심의위원회 심의를 거쳐 승인 및 고시함

46) 지반 분야 평가위원을 1명 추가하거나, 추가하지 못하는 사유가 있는 경우 그 사유 등에 대하여 철도공단에 보고하거나 협의한 적이 없음

성·운영하였다.

[표 15] 제3-1공구 암반판정위원회 운영 현황

(단위: 회)

암반판정	평가 위원 참석 횟수				입회자 참석 횟수			
	감리단장	인접 공구 감리단	기술지원 감리원		시공사 현장대리인	계측관리자	공사관리관	원설계자
			토질기초 분야	지반 분야				
112	112	112	112	-	3	-	-	7

주: 굴착공사(2012. 10. 30.~2015. 5. 5.) 중 총 112회 암반판정위원회 운영 결과 집계
자료: 철도공단 제출자료 재구성

또한 철도공단(공사관리관)은 2014. 1. 9. 감리용역업체로부터 단층대 취약구간인 제3-1공구 18.216~18.276km 지점에 대한 암반판정 계획(평가위원 3명, 입회자 1명)을 보고받고도 감리용역업체로 하여금 암반판정위원회 평가위원을 암반정지침대로 구성하도록 하지 않았고, 업무가 바쁘다는 사유 등으로 입회 여부에 대하여 검토하지 않고 같은 해 1. 10. 암반판정위원회에 입회하지 않는 등 제3-1공구 암반판정위원회 총 112회에 모두 입회하지 아니하였다.⁴⁷⁾

이에 따라 철도공단이 2014. 1. 10. 암반판정과 같이 감리용역업체가 개정된 암반정지침을 제대로 적용하지 않고 있는 데 대하여 아무런 조치를 하지 못하여 율현터널 제3-1공구 암반판정 및 보강공법 결정 과정에서 단층 파쇄대의 압착 거동 등으로 인해 발생하는 용기에 적절하게 대처할 기회를 상실하였다.⁴⁸⁾

4) 율현터널 궤도 용기 발생에 대한 보수·보강대책 부적정

가) 판단기준

가-1) 율현터널 궤도에 용기 발생 후 조치 경과

율현터널은 2017년 2월부터 신갈 단층대의 압착 거동 등으로 인해 인버트를 시공하지 않은 곳에서 [표 16]과 같이 용기(30mm 초과)가 발생하였다.

47) 철도공단은 제3-1공구뿐만 아니라 다른 공구의 암반판정위원회에 대부분 입회하지 아니하고 있음

48) 철도공단의 입회 대상자인 공사관리관은 당시 암반판정위원회에서 GSI 평가 등 관련 절차를 이행하지 않았다는 것을 알았다더라면 제대로 평가하도록 조치하였을 것이라고 답변

[표 16] 을현터널의 용기(30mm 초과) 발생 현황

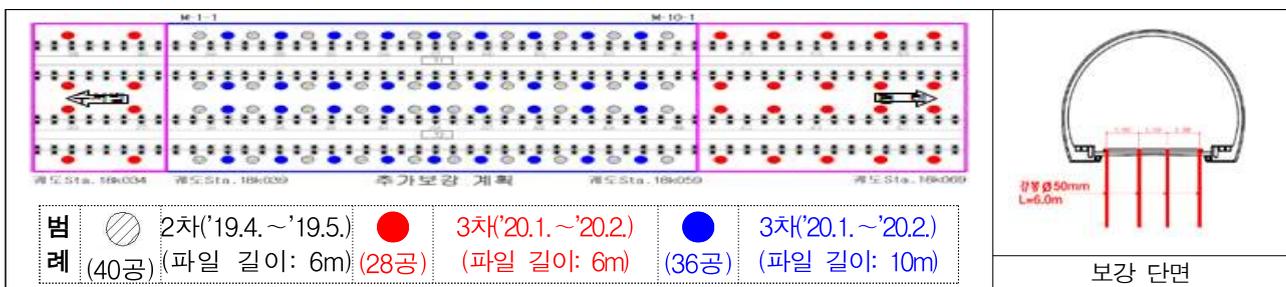
(단위: m, mm)

측정일	용기 발생량	제3-1공구	제3-2공구	제4공구
2017년 12월	30mm 초과 용기 연장	45	-	-
	최고 용기량	47	24	-
2020년 6월	30mm 초과 용기 연장	318	124	18
	최고 용기량	189	49	40

자료: 철도공단 및 철도공사 제출자료 재구성

철도공단은 개통 후 최고 용기 발생 구간(18.250km 지점 전·후)⁴⁹⁾에서 용기(당시 32mm)로 인해 SRT에 진동이 발생하자 2017. 6. 20. 제3-1공구 시공사에 하자보수를 요청하여 위 지점 전·후 35m에 대하여 2018. 11. 30.부터 2019. 4. 6.까지 바닥보강 그라우팅(1차 보강공사)⁵⁰⁾을 한 후, [그림 17]과 같이 2019. 4. 26.부터 같은 해 5. 22.까지 궤도에 마이크로파일⁵¹⁾(길이 6m)을 설치(2차 보강공사)하였으나 2020. 1. 3. 용기(추가 용기 8mm 발생)가 계속 진행되는 등 용기가 제어되지 않자 또다시 2020. 1. 18.부터 같은 해 2. 28.까지 마이크로파일(길이 6m 및 10m)을 추가로 설치(3차 보강공사⁵²⁾)하고 추가 용기 발생 여부를 모니터링하고 있는 실정이다.

[그림 17] 을현터널(제3-1공구) 용기 발생 후 보강공사(2~3차) 개요도



주: 보강공사 대상 구간(18.234~18.269km 지점, 개통 후 변경된 지점은 18.034~18.069km)은 암반판정 시 GSI 평가를 하지 않아 인버트가 미시공되어 용기(최고 189mm)가 발생하고 SRT가 90~170km/h로 감속운행하고 있는 구간임
 자료: 철도공단 및 시공사 제출자료

- 49) 공사 시 기준 측정이고, 현재 운영 중인 위치는 18.050km 인근임(공사 시와 운영 중인 위치는 0.2km 차이)
- 50) 1차 보강공사(깊이 3.5m 구멍에 시멘트액을 주입) 중인 2018년 11월에 제3-1공구의 최고 용기 발생 지점(18.250km) 전·후 약 2km 구간에서 감속운행(90~170km/h로 운행)하기 시작하여 2020년 11월 현재까지 계속 감속운행 중
- 51) 구멍(직경 10.5cm, 깊이 6m)을 파고 그 속에 직경 약 5cm의 강봉을 넣은 후 그 사이를 시멘트로 그라우팅하는 방식(1차 보강방법에 강봉을 추가한 형태로서 록볼트 보강이라고도 함)
- 52) 제3-1공구 보강 관련 총공사비 36억여 원 집행

가-2) “보강공법 선정기준”의 설치단면(인버트 등)에 미흡한 실정

이번 감사원 감사기간 동안 확인한 바에 따르면 “2)항”과 같이 율현터널 용기 발생 구간은 “보강공법 선정기준”에 따라 2014년 1월 인버트 시공이 포함되는 보강공법인 PD-6-1A 또는 PD-6-2로 선정되어야 했다.

PD-6-1A와 PD-6-2 공법은 [그림 18]과 같이 일반보강공법(숏크리트, H형강 등)과 함께 인버트 및 측벽보강 그라우팅을 기본으로 설치하고 필요시(시공 중 계측관리기준 초과 변위 발생 시) 바닥보강 그라우팅을 추가하도록 되어 있다.

[그림 18] PD-6-1A 및 PD-6-2 공법의 시공단면

단면도			
PD 등급	PD-6-1A	PD-6-2	
인버트	인버트	인버트	
보강	측벽	측벽보강 그라우팅	측벽보강 그라우팅
	바닥	(필요시 바닥보강 그라우팅)	(필요시 바닥보강 그라우팅)
라이닝 두께	400mm	400mm	

주: “필요시”는 시공 중 계측관리기준(53mm) 초과 변위가 발생한 경우를 의미함
 자료: 철도공단 제출자료 재구성

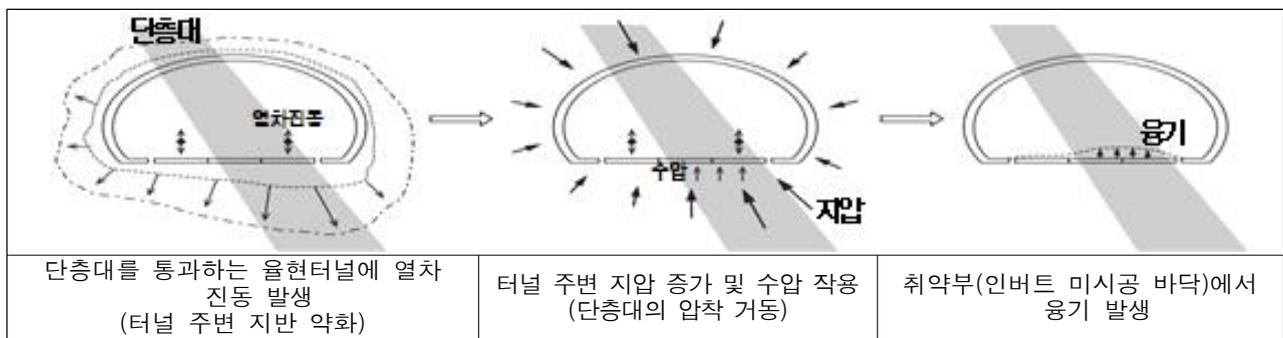
그런데 “2)항”과 같이 제3-1공구의 용기 발생 구간에는 GSI 평가를 실시하지 않았으므로 일반보강공법인 PD-6A로 결정하여 원래 기본적으로 설치되어야 했던 인버트 및 측벽보강 그라우팅이 시공되지 않아 용기가 발생하였고, 용기 발생 후 바닥보강을 위해 마이크로파일만 시공(2020년 2월)되어 있다.

가-3) 용기 방지를 위해 인버트 등 근본적인 대책 검토 필요

이번 감사 시 ○○학회로부터 받은 의견서(2020년 9월)에 따르면 [그림 19]와

같이 율현터널의 경우 시간 경과에 따라 서서히 진행되는 신갈 단층대의 압착 거동으로 인해 가장 취약한 부위에서 용기가 발생한 것으로 분석되었고, 이러한 용기 발생을 방지하는 데 가장 효과적이고 확실한 터널 단면인 원형 구조를 갖 추기 위해 하부에 인버트를 시공(터널 상부는 이미 반원형 구조임)하는 것이 필요 하다고 되어 있다.

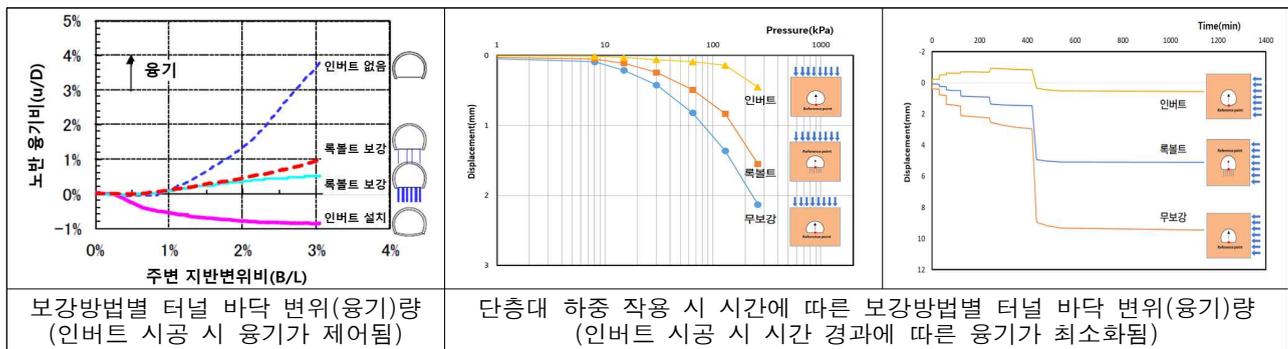
[그림 19] 율현터널의 용기 발생 개념도



자료: ○○학회 제출자료 재구성

그리고 [도표 1]과 같이 단층대 통과구간에서 마이크로파일(록볼트) 등의 지반 보강으로도 일정 수준의 압착 거동을 제어할 수 있지만, 단층대에 하중이 작용할 경우 시간 경과에 따라 추가 용기가 발생할 수 있어 인버트 시공 등의 구조적 대응에 대한 검토가 필요하다고 되어 있다.

[도표 1] 보강방법별 터널 바닥 용기량 예측



자료: ○○학회 제출자료 재구성

또한 ○○학회에서는 용기된 지반을 마이크로파일로 보강한 경우 열차 진동,

지하수위 변동 및 유입 등에 의한 하중 증가로 인하여 이미 교란(약화)된 터널 하부지반 교란 영역이 더 확대될 우려가 있는 등 시간 경과에 따라 터널 하부지반의 교란 및 교란 영역 확대로 마이크로파일의 보강 효과가 감소될 가능성이 있고,⁵³⁾ 마이크로파일 보강은 지질 구조와 지반 변화 특성에 상응하는 수준의 불확실성을 내포하고 있어 지속적인 관리·관찰이 필요하며, 마이크로파일 추가 보강으로 압착 거동 및 용기가 제어되지 않는 경우 구조물 대책인 인버트 보강을 검토해야 한다는 의견을 제시하였다.

한편 “철도 터널 설계 선진화 용역보고서”(2020년 4월, 철도공단 및 ○○학회) 4.1.3에 따르면 1990년대 이전 설계된 도시철도 터널 시공 시 지층변화가 심한 구간에 대하여 인버트를 시공한 단면은 현재까지 문제가 발생하지 않았으나 인버트를 시공하지 않은 단면은 응력 집중으로 터널에 균열 등이 발생한 것으로 분석되어 있고, 이에 따라 철도공단은 감사원 감사 자료수집 기간 중인 2020년 6월에 앞으로 철도터널을 설계 및 시공할 때는 도시지역의 경우 RMR 40점 이하(도시지역 이외는 20점 이하)이면 인버트를 시공하도록 “철도설계지침 및 편람”을 개정(규정 강화)⁵⁴⁾하였다.

따라서 추가 용기 발생에 대비하여⁵⁵⁾ 구체적인 인버트 시공 추진방안⁵⁶⁾ 등 SRT 운행의 안전성을 확보할 수 있는 근본적인 대책을 마련할 필요가 있다.

53) 일본 신칸센 고속철도의 우스이토게 터널의 경우 마이크로파일(록볼트)로 보강한 지 4~6년이 지난 후 용기가 재발하여 마이크로파일을 추가로 시공하였음

54) 기존에는 RMR 점수가 20점 이하(매우 불량)이더라도 암반 상태에 따라 인버트를 설치할 수도 있고 설치하지 않을 수도 있었으나, 앞으로 도시지역에서 RMR 점수 40점 이하(불량)인 경우에는 무조건 인버트를 설치하도록 규정을 강화함

55) 율현터널 용기 발생 구간은 열차 운행 등을 고려하여 부득이하게 마이크로파일(록볼트) 등으로 보강을 하였더라도 신갈 단층대의 압착 거동, 지하수위 변동 등에 따른 지반 불확실성, SRT 외 GTX(장래) 열차 진동 추가 등의 상황을 고려할 때 장기적으로 용기가 재발할 수 있는 가능성에 대비 필요

56) 예를 들면 보강공법 결정에 근거가 되는 추가 용기 관리기준, 근본적인 보강공법 적용 가능성, 열차 운행 또는 중단 시 보강공사 추진절차 및 교통처리 대책, 보강공사 비용 및 공사 기간 등 시행계획

나) 감사결과 확인된 문제점

그런데 철도공단은 율현터널 용기 발생 구간에 대해 “보강공법 선정기준”에 따라 인버트 시공이 포함된 보강공법(PD-6-1A 또는 PD-6-2)으로 결정했어야 하는 사실을 알지 못한 채 3차에 걸친 보강공사⁵⁷⁾를 시행하면서도, 장기적으로 신갈 단층의 압착 거동 등으로 인한 추가 용기가 발생할 경우를 대비한 근본적인 보강대책을 마련하지 않고 2020년 말까지 추가 용기만 없으면 마이크로파일 보강 효과가 있는 것으로 추정⁵⁸⁾하여 2021년부터 위 보강 방법(마이크로파일)을 율현터널 전체 용기 발생 구간으로 확대 시행할 예정이다.

이와 같이 SRT 궤도 용기에 대한 근본적인 보강대책이 수립되지 않음에 따라 추가 용기 발생 시 사회기반시설 관리에 대한 국민의 불신 초래 및 SRT 열차의 정상 운행 차질 등이 발생할 가능성이 있다.

관계기관 의견 철도공단은 감사결과를 받아들이면서 앞으로 현장지시와 함께 교육 및 점검을 병행하여 공사 관련 규정이 공사현장에서 철저히 이행되도록 현장관리에 최선을 다하고, 철도공단의 지시 등을 이행하지 않은 감리용역업체, 감리단장에 대하여 관계 법령에 따라 제재방안을 검토하여 조치하며, 율현터널의 용기 발생에 대하여 근본적인 보강방안을 마련하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 국가철도공단 이사장은

57) 제3-1공구 보강 관련 총공사비 36억여 원 집행

58) 마이크로파일 보강(2020년 2월) 후 2020년 11월까지 추가 용기가 발생하지 않고 있으나 제3-1공구 외 마이크로파일 보강을 하지 않은 공구(제3-2공구, 제4공구)도 2020년 11월 말까지 추가 용기가 발생하지 않았으므로 2020년 하반기에 신갈 단층대 거동이 없어 추가 용기가 발생하지 않은 것인지, 마이크로파일 보강 효과가 있어 추가 용기가 발생하지 않은 것인지 아직 단정하기는 이른 상태임

- ① 터널 굴착 시 보강공법을 결정할 때 발주청의 지시사항, 철도건설공사 전문시방서 부록 「암판정지침」 및 암반판정 절차 등을 이행하지 아니한 건설사업관리용역사업자(감리용역업체) 및 건설사업관리기술인(감리단장 등)에 대하여 「건설기술 진흥법」 제53조 등에 따라 벌점 부과 등의 적정한 제재를 하고
- ② 수서평택고속철도 율현터널의 용기 발생 구간에서 추가 용기가 발생하는 등 열차 운행의 안전성 저하에 대비하기 위한 근본적인 보강방안을 마련하며(통보)
- ③ 앞으로 건설사업관리용역사업자가 철도건설공사 전문시방서 부록 「암판정지침」에 어긋나게 암반판정위원회를 구성·운영하거나, 공사관리관이 암반판정위원회에 입회하지 않는 일이 없도록 암반판정 관련 업무를 철저히 하시기를 바랍니다.(주의)

1) 업무 개요

국토부는 「철도산업발전기본법」 제19조 및 제20조에 따른 철도의 관리청으로서 철도시설의 건설 및 관리, 유지보수 등에 대한 시책을 수립·시행하며, 철도건설법 제40조 및 제41조와 「철도시설 유지보수 관리규정」(국토부 고시) 제15조에 따라 철도공단의 철도건설사업 및 철도시설의 유지관리 실태를 점검하여 지도·감독하는 등 철도의 건설, 안전 및 유지관리를 총괄하고 있다.

철도공단은 2009. 12. 31 국토부(구 국토해양부)가 고시(구 「철도건설법」 제7조 및 제8조)한 “SRT(구 수도권고속철도) 건설사업 기본계획”에 따라 위 건설사업의 사업시행자로서 2011년 5월부터 2016년 12월 개통일까지 SRT 건설사업을 추진하였다.

SRT 건설사업은 사업비 3.06조 원을 투입하여 [그림 20]과 같이 수서~평택 구간의 고속철도 노선(총연장 61.1km) 및 동탄역 등 3개 역사 등을 건설하는 사업으로 국내 최장 터널인 울현터널이 총연장의 82%인 50.3km를 차지하는데 이 중 제3-1공구, 제3-2공구 등 일부 공구는 신갈 단층을 통과하고 있다.

[그림 20] SRT 건설사업 현황



자료: 철도공단 제출자료 재구성

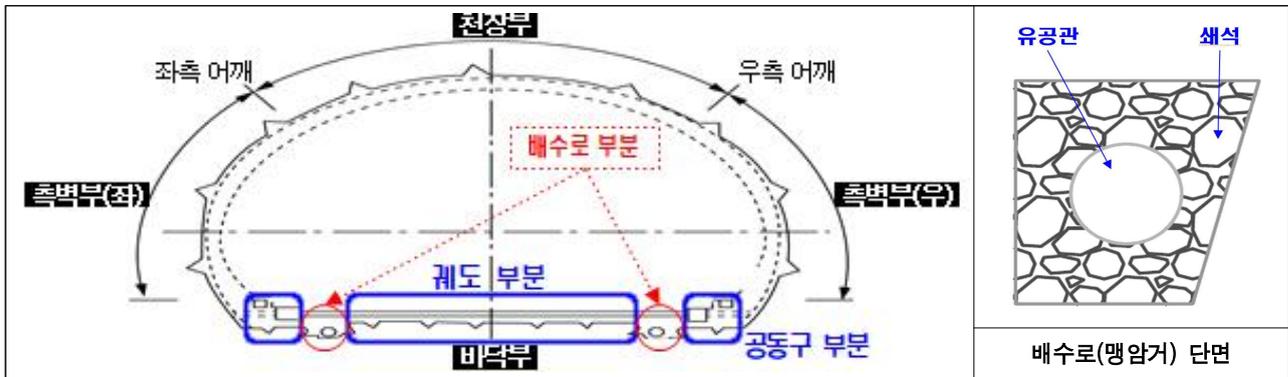
철도공단은 [별표 5] “SRT 노반공사 실시 현황”과 같이 주식회사 ∇∇ 등 10개 시공사와 SRT 건설사업 총 12개 공구의 노반공사 계약을 맺어 율현터널 등을 시공하도록 하였고, 주식회사 ☆☆ 등 6개 감리용역업체와 책임감리용역 계약을 맺어 율현터널 등의 시공 품질을 점검·관리하도록 하였다.

2) 관계규정 및 판단기준

가) 철도터널 단면의 구성 및 배수로의 형태

철도터널의 단면은 [그림 21]과 같이 크게 천장부, 측벽부, 바닥부로 구성되는데, 이 중 바닥부는 궤도(레일, 침목, 도상 등), 공동구(전력선 등), 배수로로 나누어진다.

[그림 21] 철도터널 단면의 구성



자료: 철도공단 제출자료 재구성

그리고 바닥부의 배수로는 터널 하부의 지반을 통해 유입되는 지하수를 배수하기 위해 바닥부의 양쪽 측면 또는 중앙에 설치하는 시설로서, 유공관(有孔管) 주변에 쇄석(碎石, 암석을 파쇄한 골재)을 포설하여 배수 단면을 만드는 맹암거(盲暗渠) 형태로 시공되며 지하수 유입량에 따라 배수 단면의 크기⁵⁹⁾가 정해진다.

나) 궤도 부분과 암반의 일체화로 열차 진동 피해 방지

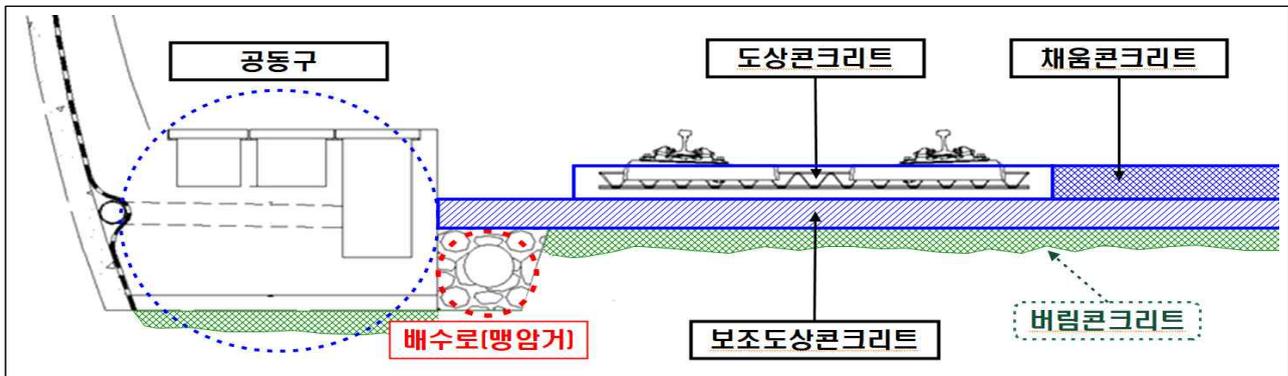
철도터널 시공은 발파(NATM 공법⁶⁰⁾ 등) 또는 기계(TBM 공법⁶¹⁾ 등) 등으로

59) 설계 시 배수 용량에 따라 결정된 배수관의 규격(지름)에 맞추어 쇄석을 포설하는 공간의 크기를 정함

암반을 터널 계획면에 맞춰 굴착하는데 여러 가지 원인⁶²⁾에 의해 터널 계획면보다 더 크게 굴착될 수 있으며, 이때 생긴 공간을 여굴(餘掘)이라 한다.

바닥부의 시공은 [그림 22]와 같이 i) 여굴이 발생한 곳을 깨끗이 청소한 후 터널 계획면까지 버림콘크리트 등으로 채워 정리한 후, ii) 양쪽 측면에 공동구를 콘크리트로 설치하고 맹암거 형태의 배수로를 시공하며, iii) 보조도상콘크리트(두께 200mm)를 궤도 부분 전체(배수로 윗부분까지 포함)에 공동구와 인접하게 설치하고, iv) 그 위에 상·하행 도상콘크리트(두께 224mm, 중간의 채움콘크리트 부분 포함)를 설치한다.

[그림 22] 터널 바닥부에 시공하는 구조물 현황



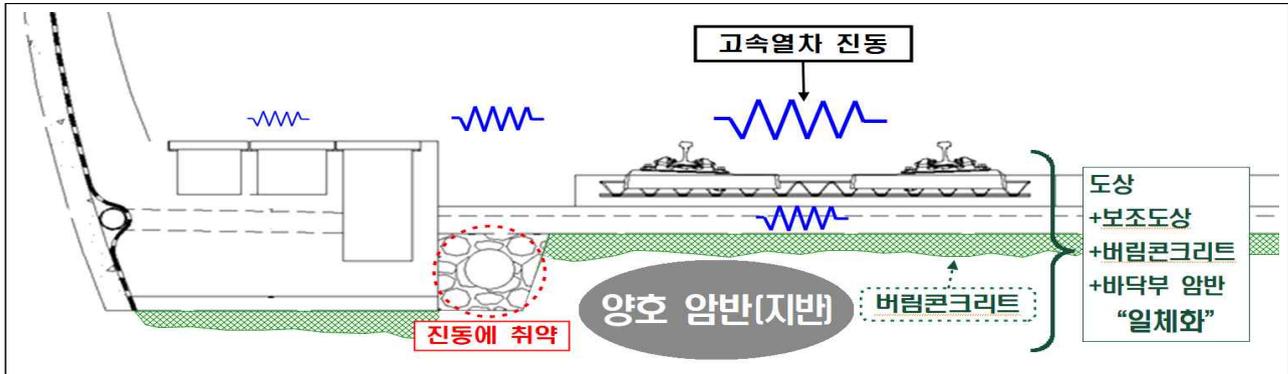
자료: 철도공단 제출자료 재구성

한편 열차의 고속운행으로 인한 진동(수직, 수평방향)이 [그림 23]과 같이 도상에 작용하고 보조도상을 통해 배수로 및 터널 바닥부 암반(연직방향), 공동구(수평방향)에 전달되는데, 열차 진동이 전달되는 매질(도상·보조도상콘크리트, 버림콘크리트 등)이 콘크리트와 같은 강성 연속체 재료인 경우에는 터널 주변 암반으로 자연스럽게 전달되어 감소되지만 궤도 하부에 쇄석과 같은 불연속체 재료가

60) New Austrian Tunneling Method의 약어로서 발파로 굴착한 터널 안쪽 천장과 벽면에 강봉(철근)을 일정 간격으로 박은 후 그 위에 콘크리트를 뿌어 붙이는 방식으로 암반의 붕괴를 방지하는 굴착방법
 61) Tunnel Boring Machine의 약어로서 원형의 굴착기로 암반을 절삭하여 굴착하는 기계식 굴착방법
 62) 굴착 장비, 천공 위치, 천공 작업원의 숙련도, 사용 발파방법, 지질조건 등

존재할 경우에는 열차 진동의 일부가 감소되지 않을 수 있다.

[그림 23] **지반조건이 양호한 경우의 열차 진동 감소**



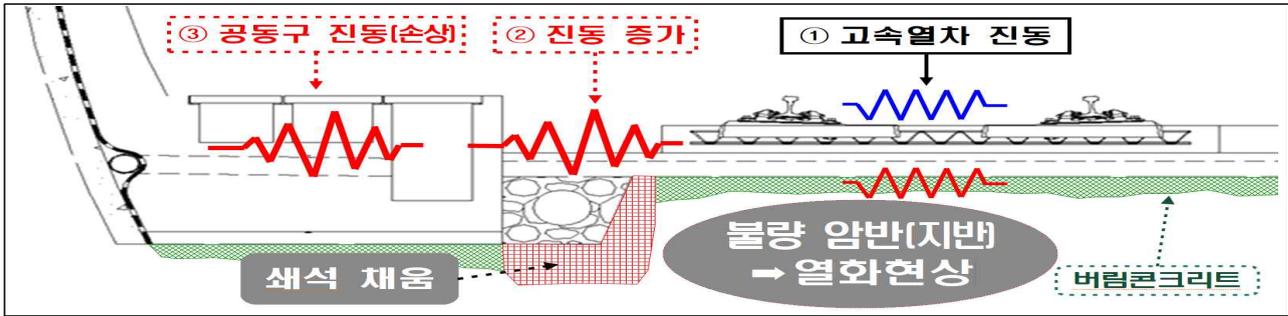
자료: 철도공단 제출자료 재구성

그리하여 지반조건이 양호한 경우에는 비록 배수로 부분이 쇄석(불연속체 재료)으로 되어 있어 강성이 부족하여 진동에 저항할 수 없더라도 나머지 강성 재료인 도상·보조도상콘크리트 및 버림콘크리트가 터널 바닥부 암반과 일체화되어 열차 진동을 감소(허용한도 이하로 감소)시킴으로써 진동으로 인한 피해(보조도상과 공동구의 충돌로 인한 파손 등)가 발생하지 않게 된다.

다) 지반조건이 불량한 경우 배수로 부분의 여굴에 대한 품질관리 필요

그러나 철도터널 구간에 단층 파쇄대가 분포하는 등 지반조건이 불량한 경우에는 [그림 24]와 같이 준공 후 열차가 운행하면서 터널 바닥부의 암반이 열화(강도 저하 등)되어 일체화 효과가 낮아짐으로써 열차 진동을 일정 부분 감소시키지 못하게 되는데, 이때 배수로 부분을 설계도면보다 크게 굴착하여 발생한 여굴을 모두 쇄석으로 채울 경우에는 불연속체 면적이 넓어짐으로써 열차 진동이 더욱 증가될 수 있고, 증가된 열차 진동이 주변으로 전달되어 공동구와 도상 콘크리트 등 구조물의 균열, 파손 등 손상을 가져올 수 있다.

[그림 24] 지반조건이 불량한 경우의 열차 진동 증가



자료: 철도공단 제출자료 재구성

한편 「건설기술 진흥법」 제44조와 같은 법 시행령 제65조 등에 따르면 국토부와 철도공단은 철도건설공사의 품질 확보 등을 위해 철도건설공사의 공사시방서⁶³⁾ 작성에 활용하기 위한 종합적인 시공기준인 철도전문시방서를 정할⁶⁴⁾ 수 있도록 되어 있고, 철도공단이 개별 철도건설공사의 공사시방서를 작성할 때에는 “철도전문시방서”를 기본으로 하되 해당 철도건설공사의 특수성과 공사지역의 여건 등을 고려하도록 되어 있다.

따라서 국토부와 철도공단은 철도터널 구간에 단층 파쇄대가 분포하는 등 지반조건이 불량한 경우에는 배수로 부분에 발생한 여굴을 강성과 배수기능을 모두 갖춘 재료로 채우도록 하는 기준을 철도전문시방서에 정하여 운용하고, 철도공단은 개별 철도건설공사의 공사시방서 작성 시 위 처리기준을 포함하여 작성하는 것이 바람직하다.⁶⁵⁾

3) 감사결과 확인된 문제점

가) 파쇄대 중심 등을 통과하는 울현터널의 바닥부 여굴 시공기준 미비

그런데도 국토부와 철도공단은 철도전문시방서(터널공사편)에 터널 바닥부

63) 건설공사의 계약도서에 포함된 시공기준

64) 철도공단이 개정(안)을 작성하고 국토부는 중앙건설기술심의위원회의 심의를 거쳐 승인·고시함

65) 특히 철도터널의 경우 도로터널 등 다른 터널과 달리 준공 후 열차운행 중에는 보수·보강공사 등에 많은 제약이 있으므로 공사 시 엄격한 품질관리가 필요함

중 궤도⁶⁶⁾ 및 공동구 부분에 발생한 여굴에 대해서는 두께 100mm 이상의 버림콘크리트⁶⁷⁾로 채우도록 정한 반면, 단층 파쇄대 등 지반조건이 불량한 경우에 배수로 부분에 발생하는 여굴에 대해서는 처리기준을 별도로 마련하지 않은 채 2020년 10월 감사원 감사일 현재까지 철도전문시방서를 운용하고 있다.

그뿐만 아니라 철도공단은 2011년 7월 「SRT 노반신설 공사시방서」를 작성하면서 고속철도 공사지역의 단층 파쇄대 분포 등 불량한 지반조건을 고려하지 않고 철도전문시방서의 내용과 같게 터널 바닥부 중 궤도 및 공동구 하부에 발생한 여굴에 대해서는 두께 100mm 이상의 버림콘크리트⁶⁸⁾로 채우도록 정하고 배수로 부분의 여굴에 대한 처리방법은 별도로 정하지 않았다.

한편 SRT 각 공구⁶⁹⁾의 시공사와 감리용역업체는 2015년 상반기에 율현터널 바닥부 공사를 시행하면서 발파작업과 고압 암척소 등으로 인해 여굴이 발생하자 “터널 바닥부 안정성 검토” 용역(2015년 10월)을 실시하여 전체 구간의 바닥부에 발생한 여굴(약 20~50cm 깊이)에 대해 불균질한 바닥부의 부등 침하 및 바닥부의 층 분리로 인한 도상 균열 등 손상을 방지하고 품질 확보가 가능하도록 궤도와 공동구 부분의 여굴을 콘크리트(버림콘크리트)로 채우는 대책을 수립하여 2015. 10. 16. 철도공단에 보고하였는데, 이 대책에는 배수로 부분의 여굴에 대한 처리대책이 누락되어 있었다.

66) 공사시방서 제9장(터널공사) 9-2(터널굴착) 3.6.3에는 궤도, 공동구, 배수로 부분 전체를 포함하는 ‘바닥부’로 표시되어 있으나 바닥부와 함께 공동구가 별도로 기재된 것을 고려하여 국토부 및 철도공단은 ‘바닥부’를 궤도 부분만 해당되는 것으로 해석·운용하고 있음

67) 궤도 부분은 레일, 침목, 도상 등 구조물이 설치되며 준공 이후 운행하는 열차의 하중과 반복적인 진동에 대한 지지력이 확보되어야 하고, 공동구 부분도 터널 천장부 등에 작용하는 하중을 지지해야 하므로 콘크리트 등과 같은 강성재료로 채우도록 되어 있어 버림콘크리트의 최소두께가 정해져 있음

68) 공사시방서 제9장(터널공사) 9-2(터널굴착) 3.6.3

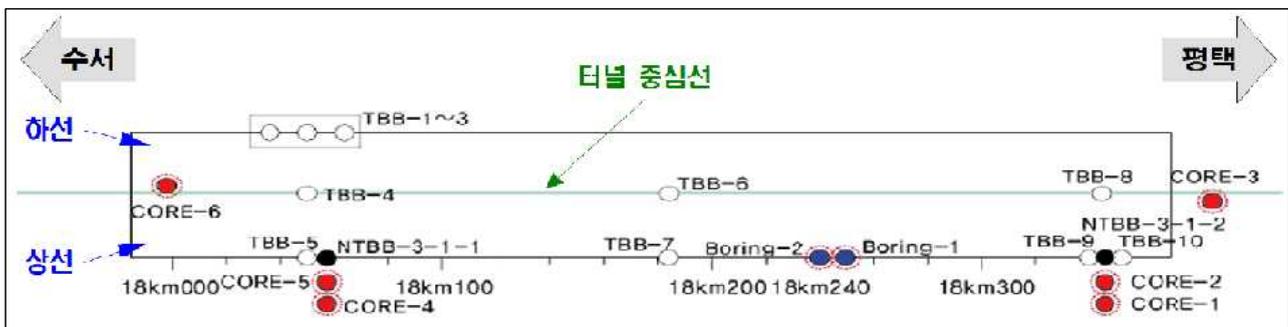
69) 제4공구와 제9공구는 설계시공일괄입찰공사(턴키공사) 구간으로 참여업체 자체적으로 설계 및 시공하므로 용역 과업대상에서 제외

이에 대하여도 철도공단은 각 시공사와 감리용역업체에 배수로 여굴에 대한 처리대책을 수립하도록 조치하지 않고 2015. 12. 22. 바닥부 중 궤도와 공동구 부분에 발생한 여굴은 콘크리트로 채우되, 배수로 부분의 여굴에 대해서는 지하수의 원활한 배수만을 고려하여 쇄석으로만 채워서 시공하도록 하는 “터널 바닥부 안정성 향상을 위한 시행방안”을 각 시공사와 감리용역업체에 통보하였고, 각 시공사는 위 시행방안대로 터널 바닥부 여굴을 시공하였다.⁷⁰⁾

나) SRT 제3-1공구의 용기 발생구간에 대한 시추조사 결과 등

이에 이번 감사원 감사기간 동안 SRT 울현터널 중 노반 용기와 구조물 손상의 정도가 가장 심한 제3-1공구 중 수서 기점 18.200~18.560km 지점(운영 중 지점은 18.000~18.360km)을 표본으로 하여 [그림 25]와 같이 각각 2018년 7월의 시공사, 2019년 8월의 ○○학회 분석결과와 2020년 7월에 감사원이 추가로 시추조사·분석한 총 11개의 시추 조사 결과를 종합하여 제3-1공구 터널 바닥부 시공상태와 배수로 부분의 여굴 시공방법에 따른 문제점을 검토하였다.

[그림 25] 시추조사 위치 평면도



- 주: 1. 시추공 번호는 각각 TBB는 시공사, NTBB는 ○○학회, Boring과 CORE는 감사원이 추가 조사를 한 것임
 2. 배수로 부분의 여굴 시공 현황을 확인하기 위한 시추공은 도상 끝단(네모박스의 윗변과 아랫변)의 11개임 (TBB-1~3, 5, 7, 9, 10, NTBB-3-1-1~2, Boring-1~2)
 3. 시추조사 위치 평면도는 좌측이 수서 방향과 우측이 평택 방향임

자료: 시추조사 결과 재구성

70) 철도공단은 울현터널 사례와 마찬가지로 일반적으로 철도터널 공사현장에서 지반조건 불량 여부와 관계없이 터널에 유입되는 지하수의 원활한 배수만을 고려하여 배수로 부분에 발생한 여굴을 모두 쇄석으로 채워서 시공하도록 공사관리를 하고 있음

[표 17]과 [별표 6] “SRT 제3-1공구 시추조사 결과 개요도 및 배수로 설계도면”과 같이 배수로 부분의 시추공 11개 전체에서 쇄석이 발견되었고 배수로의 설계도면 상 깊이는 75.8cm임에도 여굴 깊이는 이보다 평균 37.7cm(최대 74.2cm)만큼 깊게, 폭은 평균 30cm만큼 넓게 여굴이 발생하였고 이 부분을 모두 쇄석으로 채워 쇄석 채움 면적이 확대된 것으로 확인되었다.

[표 17] 시추조사 결과

(단위: cm)

연번	시추공 번호	쇄석까지의 시추 깊이(A)	설계도면 상 배수로 최하단 깊이(B)	여굴 깊이 (A-B)	여굴 폭 ³⁾
1	TBB-1	105	75.8	29.2	30
2	TBB-2	113	75.8	37.2	30
3	TBB-3	114	75.8	38.2	30
4	TBB-5	120	75.8	44.2	30
5	TBB-7	100	75.8	24.2	30
6	TBB-9	97	75.8	21.2	30
7	TBB-10	85	75.8	9.2	30
8	NTBB-3-1-1	150	75.8	74.2	30
9	NTBB-3-1-2	150	75.8	74.2	30
10	Boring-1	105	75.8	29.2	30
11	Boring-2	110	75.8	34.2	30
평균		113.5	75.8	37.7	30

주: 시추공을 도상콘크리트 끝단에서 시추하여 쇄석을 확인한 것이므로 여굴 폭은 설계도면상 배수로 최하단 수평 방향 폭(40cm)과 배수로 부분 보조도상콘크리트 노출면 폭(70cm)과의 차이로 산정

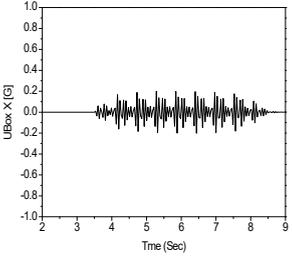
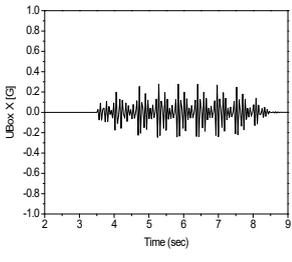
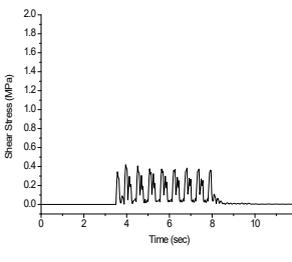
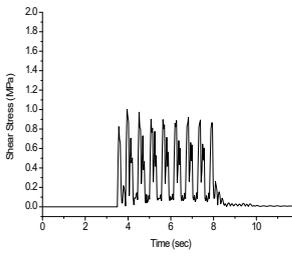
자료: 시추조사 결과 재구성

이와 관련하여 ○○학회⁷¹⁾를 통해 노반 용기 등이 발생한 SRT 제3-1공구의 일부 구간에 대하여 고속열차 운행에 따른 진동가속도를 측정하고 이를 바탕으로 수치해석한 결과, [도표 2]와 같이 배수로 부분의 쇄석 채움 면적이 확대⁷²⁾ (설계도면 대비 연직방향 1.2배, 수평방향 2배)됨에 따라 각각 공동구의 수평방향 진동가속도는 약 1.2배, 공동구 벽체의 전단응력은 약 2.4배 증가(허용 전단응력 초과)하는 것으로 확인되었다.

71) ○○학회가 2019년 5월에 착수하여 2020년 12월 준공한 “SRT 율현터널 안정성 검토(원인·대책·안정성 분석)” 용역에서 감사원 감사 중 질의 내용에 따라 배수로 부분의 여굴이 터널에 미치는 영향을 분석하였음

72) 시추조사 결과로 확인한 배수로 부분의 쇄석 채움 평균면적은 6,545cm²[깊이(37.7+55.8)×폭(30+40)=6,545]이고, 수치해석으로 모델링한 쇄석 채움 면적은 5,357cm²[깊이(55.8×1.2배)×폭(40×2배)=5,357]로서 수치해석 모델에 적용한 쇄석 채움 면적이 실제의 82%[(5,357÷6,545)×100] 정도로 보수적으로 검토하였음

[도표 2] 배수로 부분의 쇄석 채움 확대에 따른 열차 진동 등의 변화

공동구 수평방향 진동가속도		공동구 벽체 전단응력 ²⁾	
설계도면에 따른 배수로 쇄석 채움 시공 ¹⁾	과다 여굴에 의해 배수로 쇄석 채움 면적 확대	설계도면에 따른 배수로 쇄석 채움 시공	과다 여굴에 의해 배수로 쇄석 채움 면적 확대
			
<ul style="list-style-type: none"> 수평방향 진동가속도 1.2배 증가 		<ul style="list-style-type: none"> 벽체 전단응력 0.419MPa (허용 전단응력 0.503MPa 미만) 벽체 전단응력 1.001MPa (허용 전단응력 0.503MPa를 초과) 	

주: 1. 설계도면에 따른 배수로 쇄석 채움 시공의 경우는 여굴이 없음을 뜻함
 2. 공동구 벽체 전단응력의 경우 약 2.4배 차이가 발생(설계도면 0.419MPa → 확대 단면 1.001MPa)
 자료: ○○학회 연구용역 종합보고서 재구성

이에 대하여 ○○학회는 SRT 율현터널 주변 단층 파쇄대 등 취약지반(불량 지반)의 압착 거동(Squeezing)에 의해 발생한 암반 용기로 도상·보조도상콘크리트와 바닥부 암반이 분리되었고, 배수로 부분의 쇄석 채움 면적이 확대됨에 따라 열차 진동과 전단응력이 증가됨으로써 [사진 5]와 같이 궤도 용기에 따른 손상이외에 율현터널 일부 구간(제3-1공구, 제3-2공구73)의 공동구 벽체에서 균열, 파손 등 손상이 가중 또는 촉진된 것으로 분석하였다.

73) ○○학회의 연구용역 종합보고서에 따르면 제3-2공구의 용기 구간에 대한 시추조사 결과, 제3-1공구와 동일하게 제3-2공구의 일부 구간에서 배수로 부분의 여굴을 쇄석으로 채운 것으로 확인되었음

[사진 5] 울현터널 제3-1공구의 공동구 벽체 손상 사진



주: 지점은 공사 시 측점을 기준으로 변경 표기함(공사 시 측점과 개통 후 측점은 0.2km 차이가 있음)

자료: 철도공단 제출자료 재구성

그리고 ○○학회는 철도터널 바닥부 시공 시 배수로 부분도 엄격한 품질관리가 필요하므로 지반조건이 불량한 경우에는 배수로 부분에 발생하는 여굴을 강성이 큰 투수성 재료로 채워서 시공하는 방안을 고려할 필요가 있다는 의견을 제시하였다.

이와 같이 SRT 울현터널 제3-1공구 및 제3-2공구의 노반 융기 발생 구간 중 배수로 부분에 쇄석 채움 면적이 확대된 것으로 확인된 구간에 보강공사를 하지 않을 경우 향후 열차 진동 등의 증가로 인해 공동구 등 구조물에 추가 손상이 발생할 가능성이 있다.

관계기관 의견 철도공단은 감사결과를 받아들이면서 노반 융기 발생 구간 중 배수로 여굴을 쇄석으로 채운 것으로 확인된 제3-1공구 및 제3-2공구의 일부 구간에 대하여 지속적인 모니터링과 함께 전문기관(○○학회)의 검토를 거쳐 추가적인 보강방안을 마련하여 조치하고, 지반조건에 따른 철도터널 배수로 부분의 여굴 처리기준에 대해서는 열차 진동에 따른 강성 확보 및 통수능력 등을 종합적으로 검토하여 철도전문시방서를 개정하도록 국토부와 적극적으로 협의하

겠다고 답변하였다.

국토부는 감사결과를 받아들이면서 지반조건에 따른 철도터널 배수로 부분의 여굴 처리기준에 대해서는 철도공단을 통해 열차 진동에 따른 강성 확보 및 통수능력 등을 종합적으로 검토하여 철도전문시방서를 개정하겠다고 답변하였다.

조치할 사항

국가철도공단 이사장은

- ① 수서평택고속철도 율현터널 제3-1공구 및 제3-2공구의 노반 용기 발생 구간 중 배수로 부분의 여굴을 쇄석으로 채운 것으로 확인된 구간에 대하여 공동구 등 구조물의 추가적인 손상을 방지할 수 있는 보강방안을 마련하고
- ② 국토교통부장관과 협의하여 철도터널 굴착공사 시 지반조건이 불량한 경우 배수로 부분에 발생한 여굴에는 강성과 배수기능을 모두 갖춘 재료로 채우도록 하는 기준을 「철도건설공사 전문시방서」에 정하고 해당 시방기준을 공사시방서에 반영하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

국토교통부장관은 국가철도공단 이사장과 협의하여 철도터널 굴착공사 시 지반조건이 불량한 경우 배수로 부분에 발생한 여굴에는 강성과 배수기능을 모두 갖춘 재료로 채우도록 하는 기준을 「철도건설공사 전문시방서」에 정하는 방안을 마련하시기 바랍니다.(통보)

다

궤도틀림 점검 결과에 따른 속도제한 미실시

1) 업무 개요

철도공사는 「철도산업발전기본법」 제38조에 따라 철도시설 유지보수 업무를 국토부로부터 위탁받아 선로지침⁷⁴⁾에 따라 [표 18] 및 [사진 6]과 같이 매월 1회 궤도검측차로 궤도틀림⁷⁵⁾을 점검하여 유지보수시스템에 입력(철도공사 시설장비사무소)하고, 점검 결과에 따라 열차 탈선사고 예방 등을 위해 열차의 속도를 제한하여 운행하도록 조치하거나 유지보수(철도공사 고속시설사업단)하는 등 선로를 유지관리하고 있다.

[표 18] 고속철도 궤도틀림 선로에 대한 유지관리 절차(철도공사)



주: KOVIS는 Korail Vision Innovation System의 약자

자료: 철도공사 제출자료 재구성

[사진 6] 궤도검측차의 종류



자료: 철도공사 제출자료 재구성

2) 관계규정 및 판단기준

74) 철도공단이 철도건설법 제19조 및 「철도시설의 기술기준」(국토부 고시) 제112조에 따라 철도 선로 및 선로에 부대하는 시설물의 정비와 보수, 선로점검에 필요한 사항을 규정한 지침으로서, 철도시설 유지보수 수탁기관인 철도공사는 이 지침에 따라 철도시설 유지보수를 하여야 함

75) 궤도틀림은 도상(道床, 레일·침목을 지지하는 층)의 침하·융기, 열차의 반복된 진동 등에 의하여 궤도의 선형상태가 변형된 것으로 고저틀림, 뒤틀림, 수평틀림, 궤간틀림, 방향틀림 등 5개 종류가 있는데, 이는 열차의 탈선 및 승차감 등에 영향을 미치므로 허용 한도 이내가 되도록 관리할 필요가 있음

선로지침 제7조에 따르면 [표 19]와 같이 궤도틀림(고저틀림) 측정값이 28mm 이상이면 열차 속도를 160km/h 미만으로 제한⁷⁶⁾⁷⁷⁾하도록 되어 있다.

[표 19] 궤도틀림의 관리단계별 조치사항

관리단계	내용	고속철도 고저틀림(예시)	
		한계값(mm)	조치사항
목표기준	궤도 유지보수 시 적용해야 하는 기준	$N_{20m} \leq 4$	-
주의기준	선로의 보수가 필요하지 않으나 관찰이 필요	$7 \leq N_{20m} < 14$	결함 원인 및 특성의 확인 등
보수기준	지침의 기준에 제시된 기간(7일~3개월) 이내에 유지보수	$14 \leq N_{20m} < 20$	1개월 내 유지보수
속도제한기준	이 단계에서는 열차의 주행속도를 제한하여야 함	$20 \leq N_{20m} < 24$	230km/h 이하로 속도제한
		$24 \leq N_{20m} < 28$	170km/h 이하로 속도제한
		$28 \leq N_{20m}$	160km/h 미만으로 속도제한

주: 1. 관리단계 중 선로 신설 시 준공할 때 적용하는 기준인 준공기준은 유지보수 시에는 적용하지 않아 제외
 2. N_{20m} 는 종합검측차의 20m 비대칭현(좌측 4m, 우측 16m)의 3개 지점을 기준으로 측정된 레일의 고저틀림을 의미
 자료: 선로지침 제7조 및 [별표 5] 재구성

한편 SRT 수서 기점 18.250km⁷⁸⁾ 전·후 약 2km 구간은 궤도 용기로 인한 궤도틀림(고저틀림)이 발생(이하 “용기 발생 구간”이라 한다)하여 2018. 11. 24. 이 후 계속 170km/h 이하로 감속운행을 하고 있고, 위 기간 중에도 궤도틀림(고저틀림)이 심한 경우에는 일시적(2019. 3. 6.~3. 8., 같은 해 3. 13.~3. 14.)으로 160km/h (제한속도 코드 상 운행가능속도는 90km/h)⁷⁹⁾ 미만으로 속도제한을 실시한 적도 있어 궤도틀림 점검 시 ‘속도제한기준’ 초과 여부에 대하여 주의관찰이 필요한 구간이다.

따라서 철도공사는 위 용기 발생 구간을 궤도검측차로 점검한 결과 ‘속도제한기준’을 초과하는 구간에 대해서는 유지보수시스템⁸⁰⁾에 입력하여 즉시 열차의

76) 국내 고속철도 궤도틀림 관리기준과 유사한 프랑스의 SNFC 궤도틀림 허용기준에 따르면 “속도제한치”는 승차감 기준이 초과되었고 안전성이 위험한 상태로서 강제적, 즉각적으로 속도를 제한하고 조속한 응급복구를 하도록 하고 있으며, 일본 신칸센에서도 “서행관리목표치”를 넘을 경우에는 즉시 서행하도록 관리하고 있음
 77) 항공·철도사고조사위원회의 탈선사고 조사보고서에 따르면 2015. 8. 18. ◆◆역 구내의 궤도틀림(뒤틀림)은 속도제한기준보다 낮은 보수기준이었으나 제3094호 화물열차의 중량분포가 기준치를 초과한 외적 요인과 결합하여 탈선사고가 발생하였음
 78) 공사 시 측정이고, 개통 후 측정으로는 18.050km에 해당(공사 시 측정과 개통 후 측정은 200m 차이가 있음)
 79) 철도공사의 제한속도는 300, 230, 170, 90km/h 단계(코드)로 구분되어 있어 160km/h 미만으로 속도를 제한하는 경우 실제 운행은 90km/h로 하여야 함
 80) 유지보수가 필요한 위치와 내용 등을 전산으로 관리하는 시스템으로서, 궤도틀림 점검부서(시설장비사무소)에서 궤도검측차로 측정된 값 중 측정값 오류를 제외하고 입력하면 고속시설사업단에서 유지보수 및 속도제한을 실시함

운행속도를 제한하여 운행하여야 했다.

3) 감사결과 확인된 문제점

이번 감사원 감사기간 동안 위 용기 발생 구간에 대한 궤도검측차 점검 자료(2020년 1~6월)와 이에 따른 조치사항을 확인한 결과, [표 20]과 같이 2020. 4. 17. 총 5개소에서 ‘속도제한기준’을 초과하는 궤도틀림(고저틀림)이 발생하였다.

[표 20] SRT 종합검측차로 점검한 결과보고서(상행선, 2020. 4. 17.)

연번	궤도틀림 종류	점검 지점(km)		최대 틀림값 발생 위치(km)	최대 틀림값 (mm)	관리단계별 한계값(mm)	관리단계	비고
		시점	종점					
1	고저틀림 (좌측레일)	18.229	18.230	18.229	23.885	20.000	속도제한기준 (230km/h 이하)	점검 지점 위치는 공사 시 측점 기준으로 표기함
2	고저틀림 (좌측레일)	18.228	18.229	18.228 ⁸¹⁾	27.888	24.000	속도제한기준 (170km/h 이하)	
3	고저틀림 (좌측레일)	18.227	18.228	18.228	28.060	28.000	속도제한기준 (160km/h 미만)	
4	고저틀림 (좌측레일)	18.226	18.227	18.227	24.961	24.000	속도제한기준 (170km/h 이하)	
5	고저틀림 (좌측레일)	18.225	18.226	18.226	20.086	20.000	속도제한기준 (230km/h 이하)	

주: 최대 틀림값 발생 위치가 160km/h 미만 ‘속도제한기준’인 28mm를 초과한 개소와 동일한 18.228km로 되어 있지만 실제 점검된 위치는 18.2283km로서 서로 다른 위치임
 자료: 철도공사 제출자료 재구성

위 5개소 중 4개소(연번 1, 2, 4, 5번)는 최대 틀림값(20.086~27.888mm)이 170~230km/h ‘속도제한기준’을 초과하였으나 위 지점은 이미 용기 발생으로 인해 속도를 170km/h로 감속운행하고 있는 지점이므로 별도 조치가 필요하지 않으나, 나머지 1개소(연번 3번, 18.227~18.228km 지점)는 160km/h 미만 ‘속도제한기준’인 28mm를 초과(28.060mm)하였는데도 철도공사 시설장비사무소(궤도틀림 점검부서)가 위 궤도틀림(고저틀림) 점검 결과를 유지보수시스템에 입력하지 않아⁸¹⁾ 철도공사 고속시설사업단(속도제한 실행부서)이 속도제한이 필요하다는 사실을 인지하지 못하여 SRT 열차를 160km/h 미만(제한속도 코드 상 운행가능속도는 90km/h)으로 속도제한하지 않고 기존대로 170km/h로만 운행하였다.⁸²⁾

81) 시설장비사무소 담당자는 당시 실수로 유지보수시스템에 점검 결과를 입력하지 않았다고 답변

또한 2020. 5. 15.에도 궤도검측차 점검결과 SRT 상행선 지점 18.234~18.235km(연장 1m, 공사 시 측점 기준) 구간의 경우 160km/h 미만 ‘속도제한기준’인 28mm를 넘는 궤도틀림(고저틀림)이 2개 지점(공사 시 측점 기준 18.2347km에서 28.21mm, 18.2345km에서 28.19mm)에서 발생하였는데도 철도공사 유지보수시스템의 전산 오류⁸³⁾로 고속시설사업단에서 이러한 사실을 조회하지 못하여 160km/h 미만(제한속도 코드 상 운행 가능 속도는 90km/h)으로 속도제한하지 않고⁸⁴⁾ 기존대로 170km/h로만 운행하였다.

이와 같이 궤도틀림 점검결과에 따른 속도제한을 하지 않는 사례가 있어 승차감 및 주행 안전성을 확보하기 위하여 더욱 엄격한 궤도 관리가 요구되고 있다.

관계기관 의견 철도공사는 감사결과를 받아들이면서 향후 궤도검측차로 점검한 결과 궤도틀림이 ‘속도제한기준’을 초과하면 우선 속도제한을 시행하고 현장확인 등을 통해 조치하겠다는 의견을 제시하였다.

조치할 사항 한국철도공사 사장은 앞으로 궤도검측차로 점검한 결과 궤도틀림이 속도제한 기준치를 초과했는데도 「선로유지관리지침」에 따라 속도제한을 하지 않고 열차를 운행하는 일이 없도록 관련 업무를 철저히 하시기 바랍니다.(주의)

82) 2020. 4. 17.부터 같은 해 5. 15. 사이에 보수(월 1회 궤도검측차로 점검하고, 용기 발생 구간은 수시로 보수하고 있어 정확한 보수시점은 알 수 없음)가 되어 2020년 12월 현재 170km/h로 주행하는 데는 지장이 없음

83) 이번 감사 중 유지보수시스템 입력부서(시설장비사무소) 외의 부서에서는 유지보수시스템 궤도틀림 결과 조회 화면의 일부 자료가 누락된 채 조회된다는 사실을 확인하고, 철도공사 전산 담당부서에 이를 알렸고 전산 담당부서에서 조사(유지보수시스템의 설정 오류로 발생한 것임을 확인)하여 전산시스템 수정을 완료하였음(2020. 7. 17.~7. 23.)

84) 궤도틀림(궤도검측차로 점검) 발생 다음 날인 2020. 5. 16. 시설장비사무소에서 인력으로 궤도틀림을 점검한 결과 27mm로 확인되기까지 하루 동안 속도제한(160km/h 미만)을 하지 않고 기존대로 170km/h로 운행하였음

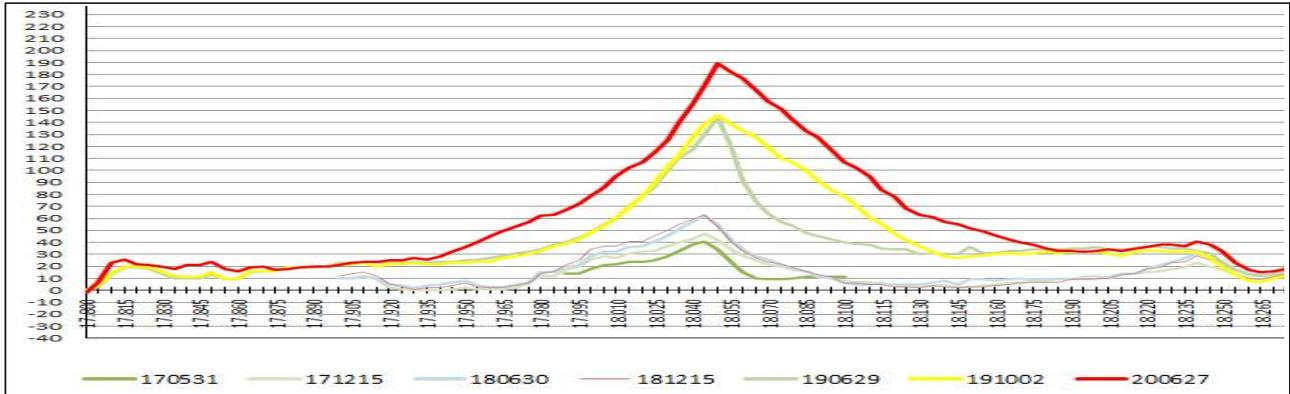
별표 목차

[별표 1] 울현터널(제3-1공구) 궤도(레일) 용기 형태	56
[별표 2] RMR 평가표 서식	57
[별표 3] GSI 평가표	58
[별표 4] 울현터널 제3-1공구 보강공법(요약)	59
[별표 5] SRT 노반공사 실시 현황	60
[별표 6] SRT 제3-1공구 시추조사 결과 개요도 및 배수로 설계도면	61

[별표 1]

울현터널(제3-1공구) 궤도(레일) 용기 형태

(단위: mm, km)



- 주: 1. 위 도표는 궤도(레일) 용기 형태를 알기 쉽게 나타내기 위하여 표시한 것으로 가로축(5m 간격)과 세로축(10mm 간격)의 축척에 차이가 있어 경사(용기 정도)가 실제보다 심해 보일 수 있으나 실제 경사(용기 정도)는 가로축의 약 250m(개통 후 기준 17.800~18.050km)를 따라 세로축의 189mm까지 증가하는 형태임
- 2. 공사 시 수서 기점 18.000~18.465km 지점(개통 후 기준 17.800~18.265km 지점, 공사 시와 0.2km 차이)에 대해 반기 1회마다 측량한 지점별 용기량(용기 높이)을 표시[예, 노란색 선은 2019. 10. 2., 적색 선은 2020. 6. 27. 측량]
- 3. 위 도표의 지점은 개통 후 기준으로 표시되어 있어 18.050km(공사 시의 18.250km에 해당)에서 최대치(189mm) 발생

자료: 철도공사 제출자료 재구성

[별표 2]

RMR 평가표 서식

평가 항목		평가 구분							평점
항목	명칭	경암	보통암	연암	풍화암	풍화토1	풍화토2	토사	
1. 암석 강도	축 강도 (kgf/cm ²)	≥ 2,500	1,000~2,499	500~999	250~499	50~249	10~49	<10	
	배점	15	12	7	4	2	1	0	
2. RQD	RQD(%)	90~100	75~89	50~74	25~49	<25			
	배점	20	17	13	8	3			
3. 절리간 거리	거리(m)	≥ 2	0.6~1.9	0.2~0.5	0.06~0.19	<0.06			
	배점	20	15	10	8	5			
4. 절리 상태	절리길이(m)	≤ 1	1.1~3	3.1~10	10.1~20	>20			
	배점	6	4	2	1	0			
	절리틈새(mm)	없음	0.1	0.2~1	1.1~5	5			
	배점	6	5	4	1	0			
	거칠기	아주 거칩	거칩	약간 거칩	평탄	경면			
	배점	6	5	3	1	0			
	충진물(mm)	없음	<경질5	>경질5	<연질5	>5			
	배점	6	4	2	2	0			
	풍화도	신선	약간풍화	보통	심한풍화	완전분해			
	배점	6	5	3	1	0			
5. 지하수 상태	상태	건조	습기	습윤	방울로 떨어져짐	표면으로 흐름			
	터널10m당 용수 (ℓ/min)	없음	≤ 10	11~25	26~125	>125			
	배점	15	10	7	4	0			
6. 절리 방향에 따른 보정	구분	굴진방향과 주향이 직교하는 경우				굴진방향과 주향이 평행	굴진방향과 주향이 20° 이하		
		경사방향 굴진		경사방향 역굴진					
	경사각	46~90°	20~45°	46~90°	20~45°	20~45°	46~90°	0~19°	
	유불리	매우 유리	유리	보통	불리	보통	매우 불리	보통	
배점	0	-2	-5	-10	-5	-12	-5		
평점 계									

주: RMR(★)는 RMR 평점에서 “5. 지하수 상태”와 “6. 절리 방향에 따른 보정”의 점수를 제외하여 산정

< RMR 평점에 따른 암반등급 분류 >

평점 합계	100~81	80~61	60~41	40~21	≤ 20
암반등급	I	II	III	IV	V
암반상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량

자료: 철도공단 제출자료

[별표 3]

GSI 평가표

<div style="text-align: center;"> <p>[표면 상태]</p> <p>[암반 구조]</p> </div>	매우 거친 표면이며 표면 신선	거친 표면이며 약간 풍화	부식조각 표면이며 풍화되거나 중간, 표면 평면	강내외부면의 정면이며 안전 풍화된 표면, 강철내부면이며 평면	강내외부면의 정면이며 안전 풍화된 표면, 전면 평이한 평면
	매우 좋음	좋은	보통	불량	매우 불량
<p>무결암 또는 피상</p> <p>: 무결함 시편 또는 간격이 큰 불연속면을 가진 단단한 현장 암</p>	90	80	70	60	50
<p>블록상</p> <p>: 3개의 직각된 불연속면에 의해 생성된 직육면체 블록으로 구성된 매우 잘 결합된 불교란 암반</p>	40	30	20	10	N/A
<p>심한 블록상</p> <p>: 4개 이상의 불연속면에 의해 생성된 다각 블록을 가진 결합되었으나 부분적으로 교란된 암반</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<p>블록상/교란/균열상</p> <p>: 많은 불연속면에 의해 형성된 각진 블록을 가진 습곡된 암반, 층리 또는 엽리의 지속성</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<p>분해상</p> <p>: 불안정하게 결합된 동근 압편과 각진 압편이 혼합된 매우 심하게 깨진 암반</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
<p>층상/전단</p> <p>: 얇은 층상 또는 얇은 전단면의 짧은 간격으로 인한 블록성의 결여</p>	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

자료: 철도공단 제출자료

[별표 4]

울현터널 제3-1공구 보강공법(요약)

단면도			
PD 등급	PD-5-1	PD-6A	
인버트	-	(필요시)	
보강	측벽	-	-
	바닥	-	-
라이닝두께	300mm	400mm	
단면도			
PD 등급	PD-6-1A	PD-6-2	
인버트	인버트	인버트	
보강	측벽	측벽보강 그라우팅	측벽보강 그라우팅
	바닥	(필요시 바닥보강 그라우팅)	(필요시 바닥보강 그라우팅)
라이닝두께	400mm	400mm	

주: “필요시”는 공사 중 계측관리기준(PD-6A는 52mm, PD-6-1A는 53mm)에 초과 변위가 발생한 경우를 의미함
 자료: 철도공단(암반판정 자료, “보강공법 선정기준”) 제출자료 재구성

[별표 5]

SRT 노반공사 실시 현황

공구	시공사	발주 방식	감리업체	공사기간	계약금액 (억 원)	공사 구간			
						시점(km)	종점(km)	연장(m)	터널(m)
1-1	□□(주) 외 3개사	기타 공사	㈜♡♡ 외 3개사	2012. 1. 3.~ 2017. 3. 31.	1,508	-0.240	0.913	1,153	-
1-2	△△(주) 외 2개사	기타 공사		2012. 1. 13.~ 2017. 1. 31.	1,060	0.913	6.300	5,387	5,000
2	▷▷(주) 외 4개사	기타 공사	㈜☆☆ 외 2개사	2012. 1. 3.~ 2017. 12. 15. (일시중지)	2,344	6.300	14.500	8,200	8,200
3-1	㈜▽▽ 외 4개사	기타 공사		2012. 1. 3.~ 2016. 12. 20.	1,287	14.500	20.185	5,685	5,685
3-2	◁◁(주) 외 3개사	기타 공사	㈜●● 외 3개사	2012. 1. 3.~ 2017. 11. 30.	2,737	20.185	26.096	5,911	5,911
4	◇◇(주) 외 5개사	터키 공사		2011. 5. 27.~ 2016. 11. 30.	1,872	26.096	31.198	5,102	5,102
5	■(주) 외 1개사	기타 공사	㈜◀◀ 외 2개사	2012. 7. 25.~ 2020. 12. 30.	3,259	31.198	33.798	2,600	1,992
6-1	▲▲(주) 외 2개사	기타 공사		2012. 1. 3.~ 2016. 12. 20.	973	33.798	39.468	5,670	5,670
6-2	◇◇(주) 외 3개사	기타 공사	㈜★★ 외 3개사	2012. 1. 3.~ 2016. 12. 20.	948	39.468	48.098	8,630	8,630
7	㈜▶▶ 외 2개사	기타 공사		2012. 1. 3.~ 2016. 12. 20.	947	48.098	52.698	4,600	3,520
8	▼▼(주) 외 2개사	기타 공사	㈜◎◎ 외 3개사	2012. 1. 3.~ 2016. 12. 20.	1,024	52.698	56.360	3,662	1,382
9	◁◁(주) 외 4개사	터키 공사		2011. 5. 27.~ 2016. 12. 20.	1,559	56.360	60.880	4,520	2,381

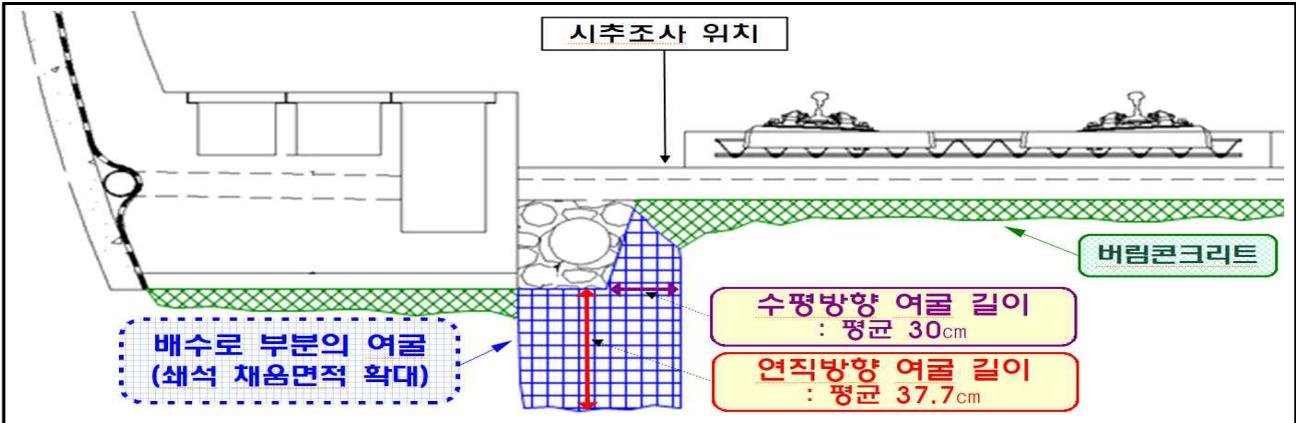
주: 터키공사는 설계시공일괄입찰공사를 뜻함

자료: 철도공단 제출자료 재구성

[별표 6]

SRT 제3-1공구 시추조사 결과 개요도 및 배수로 설계도면

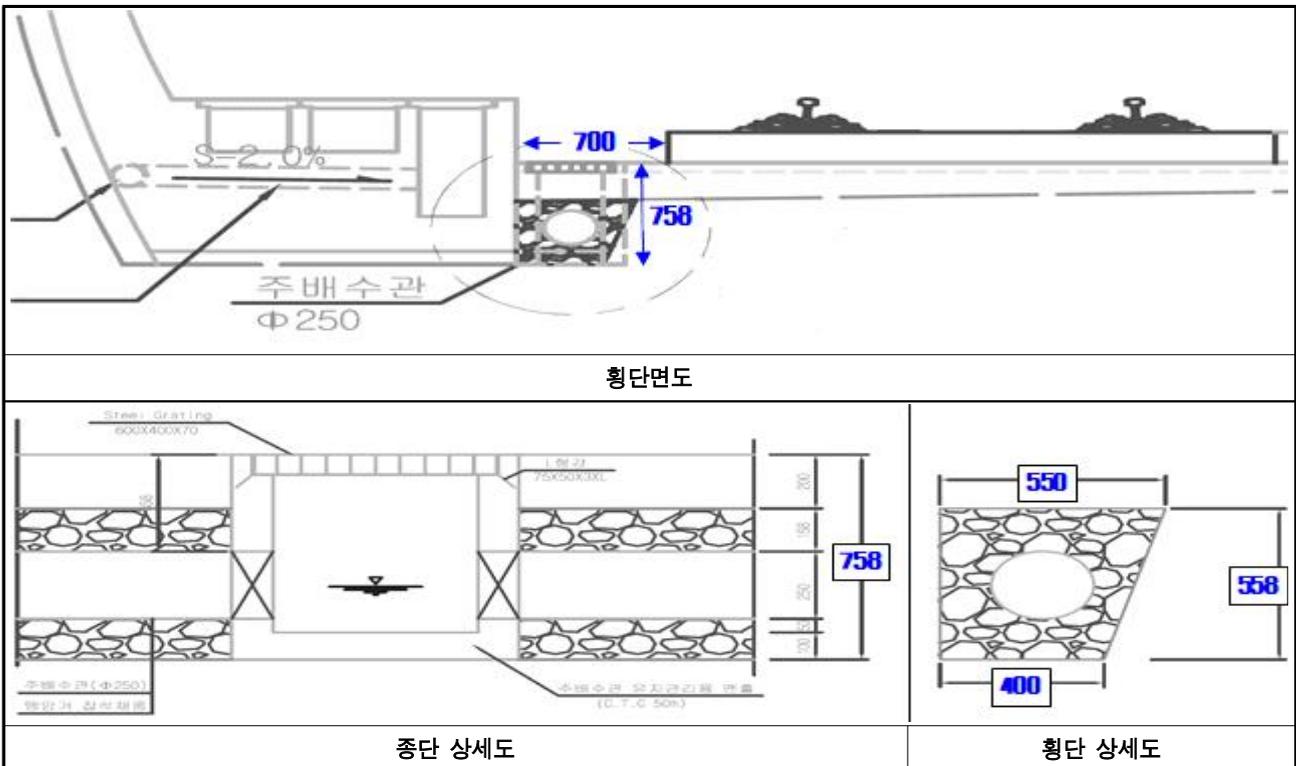
① 시추조사 결과 개요도



주: 설계도면 상 배수로 단면(연직방향 깊이 55.8cm, 수평방향 폭 400cm) 외 굴착한 부분(파란색 눈금모양의 공간)이 배수로 부분의 여굴(연직방향 여굴 길이 평균 37.7cm, 수평방향 여굴 폭 평균 30cm)인데 시공사는 이를 모두 쇄석으로 채워서 시공함

② 배수로 설계도면(배수상세도)

(단위: mm)



주: 설계도면 상 보조도상콘크리트 노출면에서 배수로 하단면까지의 길이는 758mm(558+200mm)이고, 배수로의 연직 방향 길이는 558mm이며 배수로 하단면의 수평방향 폭은 400mm
 자료: 철도공단 제출자료 재구성