국토교통부

보고서번호: ARAIB/R 2021-

철도사고조사 중간보고서

서울교통공사

5호선

발산역 구내 (상선)

제5982열차(회송 전동열차)

열차탈선

2020년 5월 24일(일) 01시 37분경

2021. . .

항공·철도사고조사위원회

차 례

제목 ····· 1

개요 ····· 2

1. 사실정보 ····· 3
1.1 사고의 경위 ····· 3
1.2 피해사항 ····· 4
1.3 운행기록 ····· 4
1.4 선로정보 ····· 6
1.5 차량정보 ····· 8
1.6 신호・전기정보 ····· 14
1.7 기상정보 ····· 16

2. 분석 ····· 17

3. 결론 ····· 17

4. 사고원인 및 안전권고 ····· 17

5. 향후계획 ····· 17

서울 5호선 발산역 구내 전동열차 탈선사고

○ 운영기관 : 서울교통공사

○ 운행노선 : 5호선

○ 발생장소 : 발산역 구내(상선)

○ 사고열차 : 제5982열차(총 16량= 정상 8량 + 고장 8량)

○ 사고유형 : 열차탈선

○ 발생일시 : 2020년 5월 24일(일) 1시 37분경

[그림 1] 사고현장 개요

개요

서울교통공사는 전동차 518편성(8량)에 대하여 고덕차량기지에서 정밀안전진단 결과 부적합 판정을 받았다. 2020년 5월 23일 10:40경 전동차 518편성(8량)을 고덕차량기지에서 방화차량기지로 이동하기 위해 무동력·무제동력, 공기 스프링 등의 기능이 없는 상태로 정상 차량인 568편성(8량) 뒤에 연결하였다. 5월 24일 00:02경 전동차 568편성과 518편성을 연결하여 고덕차량기지에서 제5982열차(16량, 이하 '사고열차'라 한다)로 출발하였다.

01:37경 사고열차가 22km/h의 속도로 발산역 통과 중 발산역 승강장 약 12m전 우곡선(R401)에서 518편성 네 번째 차량 앞 대차가 우측으로 탈선하였다. 이후 탈선한 네 번째 차량이 승강장 연단과 충돌하며 여섯 번째 차량 앞·뒤 대차가 진행 방향 우측으로 탈선하였다.

[그림 2] 탈선차량 일부

이번 사고로 인명피해는 발생하지 않았으나 승강장안전문(PSD) 43개 파손 및 차량 차체 외관, 차륜, 주공기 차단밸브, 견인전동기 등 파손, 궤도·건축·신호 시설물이 파손되어 총 80,300만원의 물적 피해가 발생되었다.

항공·철도사고조사위원회는 『항공·철도사고조사에 관한 법률』 제2조(정의) 및 제18조(사고조사의 개시)에 따라 사고조사를 진행하고 있다.

1. 사실정보

1.1 사고의 경위

서울교통공사는 전동차 518편성(8량)에 대하여 고덕차량기지에서 정밀안전진단(2020. 5. 5~5. 11)을 실시한 결과 8량 중 5118호(1위), 5218호(1위, 2위), 5618호(1위, 2위) 차량의 하부 대차틀 결함 등 운행 부적합 판정을 받고 방화차량기지로 이동하려고 계획하였다.

서울교통공사는 2020년 5월 23일 10:40경 고덕차량기지에서 정상 차량인 568편성 뒤에 고장 차량인 518편성에 공기를 관통시키지 않고 제동력, 공기스프링 등의 기능이 없는 무동력 상태로 연결하여 출발 대기하였고, 이후 본선 운행 전 시험을 시행하지 않았다.

5월 24일 00:02경 사고열차는 고덕차량기지에서 제5982열차(총16량=568편성+518편성)로 출발하였다. 01:37경 사고열차가 22km/h의 속도로 발산역 통과 중 승강장 약 12m전 우곡선(R401)에서 518편성 네 번째 차량 앞 대차가 우측으로 탈선하였다. 탈선 후 네 번째 차량이 승강장 연단과 충돌하며 여섯 번째 차량 앞·뒤 대차가 진행 방향 우측으로 탈선하였다.

[그림 3] 탈선 상황 및 승강장 연단 파손 상태

1.2. 피해사항

1.2.1 인명 피해

이번 사고로 인명 피해는 발생되지 않았다.

1.2.2 물적 피해

이번 사고로 승강장안전문(PSD) 43개 파손되어 약 73,200만원, 차량 분야에서 차체 외관, 차륜, 견인전동기 및 박스조립품 등이 파손되어 약 1,320만원, 정보통신분야 3,920만원, 궤도분야 1,838만원, 신호분야 85만원 등 총 80,363만원의 물적 피해가 발생되었다.

합 계	승강장안전문	차량	궤도	정보통신	신호
80,363만원	73,200	1,320	1,838	3,920	85

[표 1] 물적 피해금액(만원)

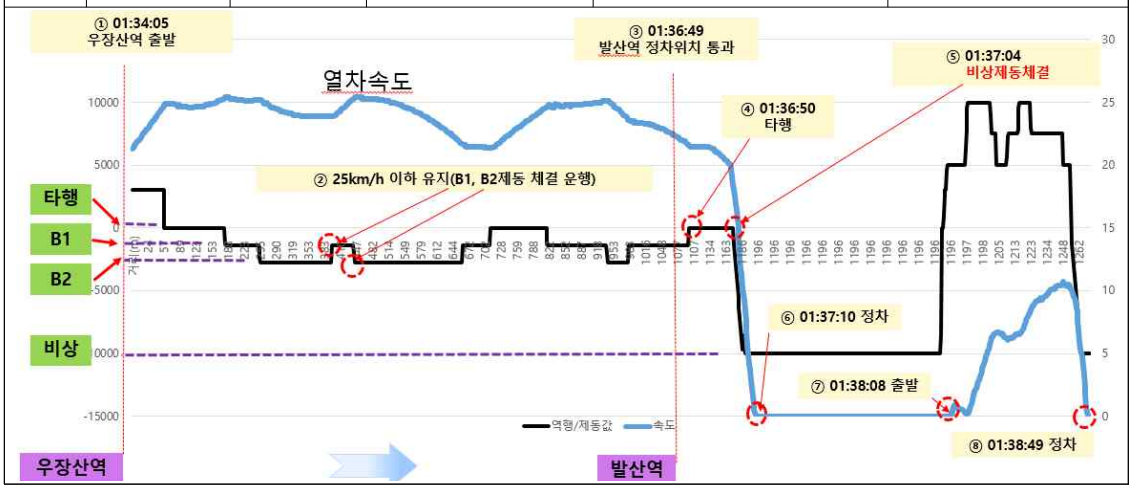
1.3. 운행기록

[표 3]과 같이 사고열차의 운행기록을 살펴보면, 열차가 우장산역을 출발하여 25Km/h까지 역행 후 타행운전을 하였으며 선로의 하구배로 인해 속도가 상승하면 제동 1단(B1)과 2단(B2)을 취급하여 감속하는 방법으로 25Km/h 이하의 속도를 유지하며 운행하였다.

발산역 진입 전 2단 제동을 취급 후 1단이 체결된 상태로 발산역을 통과하다가 타행운전으로 15Km/h의 속도에서 ATC에 의한 비상제동이 체결되어 정차하였다. 다시 운행 중 관제사의 지시에 따라 10Km/h의 속도에서 비상제동을 체결하여 정차하였다.

번호	시간	속도코드	주행속도(Km/h)	운행기록	비고
①	01:34:44	45	0	우장산역 출발	

②		45	17~25	B1, B2 제동 및 타행	25Km/h 이하
③	01:37:28	45	25	B1 제동	발산역 진입
④	01:37:29	45	22	타행운전	정차위치 통과
⑤	01:37:43	45	15	ATC 비상제동	속도코드 무코드
⑥	01:37:49	45	0	정차	
⑦	01:38:47	45	0	출발	15Km/h 취급
⑧	01:39:28	45	0	정차	관제지시



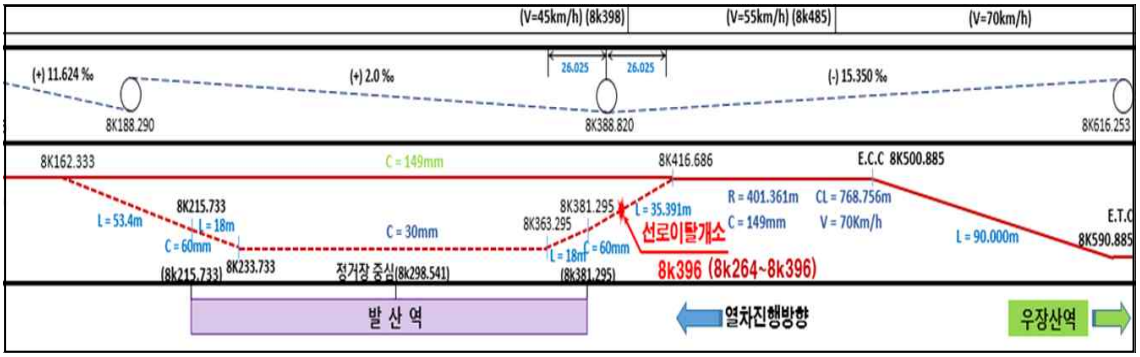
[표 3] 사고열차(568편성) 운행기록

1.4 선로정보

1.4.1 사고현장 정보

사고 현장은 [그림 6]과 같이 우장산역에서 발산역 구내로 진입하는 구간으로서 최초 탈선지점은 방화역 기점 8km396이고 곡선반경 401m의 곡선상에 위치하고 있다. 이 구간 선로는 기울기가 하향(↓) 15‰에서 상향(↑) 2‰, 11‰로 변화되는 구간이다.

선로선형은 열차 진행방향 우곡선(R=401m)으로 길이 949m[1)]이고, 캔트[2)]가 149mm에서 30mm로 체감되는 구간이다. 콘크리트 도상 궤도에 60kg 장대레일이 설치되어 있고 슬랙[3)]은 없으며 열차의 제한속도는 45km/h이다.



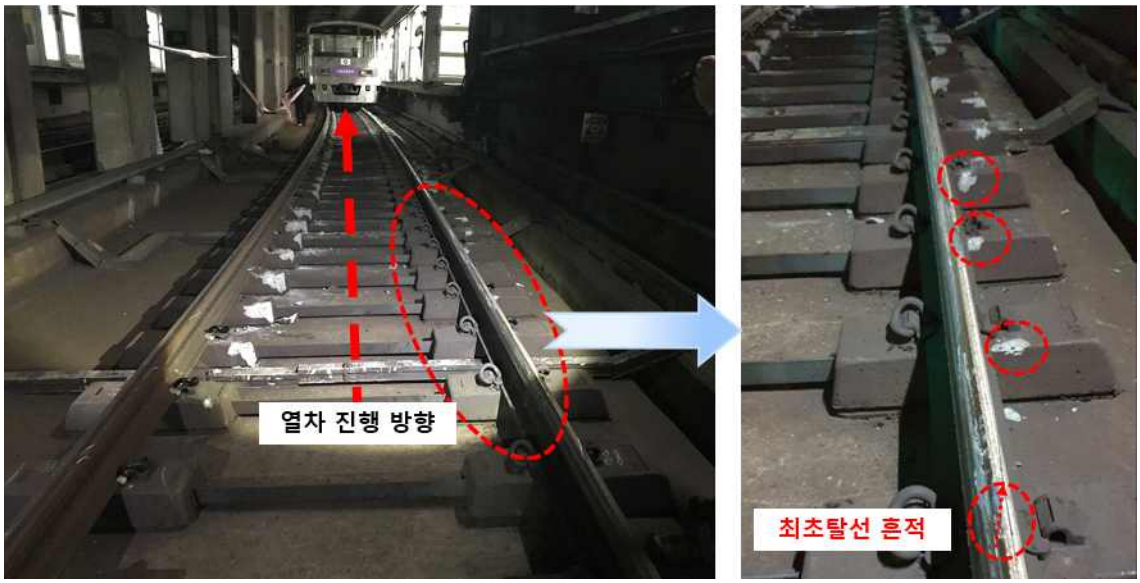
[그림 6] 탈선현장의 선형약도

1.4.2 탈선흔적

[그림 7]와 같이 사고열차의 최초 탈선 흔적은 방화역 기점 8.396km에서 발견되었으며 열차 진행방향 우곡선(R=401m, C=60mm) 캔트 체감 구간이다. 사고차량의 탈선 차륜이 열차진행방향 우측 레일을 타고 오르면서 레일 및 침목에 흔적을 남겼다.

---

1) 원곡선 769m, 완화곡선 전후 각각 90m, 완화곡선 시점 7km642, 완화곡선 종점 8km591
2) 캔트(Cant) : 차량이 곡선부를 원활하게 통과하도록 하기 위하여 안쪽레일을 기준으로 바깥쪽 레일을 높게 부설하는 것
3) 슬랙(Slack) : 차량이 곡선부를 원활하게 통과하도록 하기; 위하여 바깥쪽 레일을 기준으로 궤간을 안쪽으로 확대하는 것



[그림 7] 최초 탈선지점 현장사진

1.4.3 사고구간 선로유지보수 현황

『선로검사내규』[4] 제6조(궤도검측차점검)에 의거하여 본선 궤도 틀림검사는 검측차를 이용하여 년 4회 점검을 시행하고 있었고 탈선 구간의 2020년 2/4 분기(2020. 5. 19) 궤도검측 결과는 [표 4]과 같다.

위치	면		궤간	수평	줄		트위스트	궤도틀림				
	우	좌			우	좌		면우	면좌	수평	줄우	줄좌
8K399.	-0.9	-0.4	3.2	109.6	32.8	32.1	9	1.4	0	1.2	2.6	1.6
8K398.75	-0.8	-0.6	3.2	108.9	32.8	32.1	10	1.5	-0.2	1.1	2.5	1.5
8K398.5	-0.8	-0.8	3.1	107.6	32.9	32.1	10.8	1.5	-0.4	0.4	2.7	1.6
8K398.25	-0.8	-1.1	2.8	106.7	32.8	31.9	11.3	1.5	-0.7	0	2.6	1.4
8K398.	-0.8	-1.1	2.6	105.6	32.7	31.7	11.3	1.4	-0.8	-0.5	2.4	1.3
8K397.75	-1.2	-1.1	2.4	104.3	32.5	31.4	10.9	1	-0.7	-1.2	2.3	0.9
8K397.5	-1.8	-1.1	2.1	103	32.6	31.3	10.6	0.4	-0.7	-1.9	2.4	0.8
8K397.25	-2.2	-1.1	2.1	102.1	32.2	30.8	10.5	-0.1	-0.8	-2.3	1.9	0.3
8K397.	-2.7	-1.1	2	101.1	32.4	30.9	10	-0.6	-0.8	-2.7	2.1	0.4
8K396.75	-2.7	-0.9	2	100.2	32.2	30.6	10	-0.6	-0.6	-3.1	1.9	0.1
8K396.5	-2.7	-0.8	2.1	99.8	32	30.4	10.1	-0.6	-0.5	-2.9	1.8	0
8K396.25	-2.8	-0.6	2.2	99.5	31.8	30.1	9.9	-0.7	-0.3	-2.6	1.5	-0.3
8K396.	**-2.8**	**-0.6**	**2.5**	**99**	**31.4**	**29.9**	**9.2**	**-0.7**	**-0.3**	**-2.5**	**1.1**	**-0.5**
8K395.75	-2.8	-0.6	2.9	98.4	31.1	30	8.8	-0.7	-0.3	-2.5	0.8	-0.4

[표 4] 탈선 구간 궤도검측 결과

4) 선로검사내규 : 서울교통공사, 2018. 4.19. 개정 제62호

1.5 차량정보

1.5.1 사고열차의 고장차량 조성

사고열차의 고장차량은 1995년 4월 도입되어 본선시운전을 거쳐 동년 11월부터 영업운전에 투입된 기대수명 25년이 도래한 노후차량이며, 직류(1,500V) 전용 VVVF 인버터 제어[5] 방식으로 최고 설계속도는 100㎞/h이며 운행 최고속도는 80km/h이다.

[표 7]에서 보듯이 사고열차의 고장차량은 8량 1편성으로 운행 중이었고 탈선한 차량은 열차진행 방향으로 4번째 및 6번째 차량인 5518호(T2) 및 5318호(M2) 차량이다.

◀ 마곡역(방화기지) ← 진행방향 ▶ 우장산역(고덕기지)

Tc (5018)	M2 (5718)	M1 (5618)	T2 (5518)	T1 5418	M2 (5318)	M1 5218	Tc 5118
30.0톤	39톤	39톤	28톤	28톤	39톤	39톤	30.0톤
			(앞 대차 탈선)		(앞·뒤 대차 탈선)		

(TC : 운전실 있는 제어부수차, M1,2 : 제1,2 구동차, T1,2 : 제1,2부수차)

[표 7] 사고열차의 조성현황

1.5.2 사고열차의 고장차량 주요제원

사고열차의 고장차량 설계속도는 100km/h, 견인전동기(16대/편성) 정격출력 200㎾의 '인버터 제어 전기동차'로서 차체 길이(19.5m)×폭(3.12m)×높이(3.60m), 차륜직경 860mm이며 사고당시까지 누적 주행키로는 2,078,188km이며, 주요제원 및 성능은 [표 8]과 같다.

5) 인버터제어(VVVF) : 교류견인전동기에 공급되는 전압과 주파수를 조절하여 견인전동기 속도를 제어하는 방식

구 분		주 요 제 원	
차량형식		통근형 직류 전기동차	
차량제작사		현대로템(주), (구. 현대정공)	
차량도입		1995. 04	
일반	최고운행속도(설계)	80km/h(100km/h)	
	편 성	4M4T	
	열차치수	차체 길이(L)	20,000mm(연결면간 길이 포함)
		차량 폭(W)	3,120mm
		지붕 높이(H)	4,000mm(팬터그래프 접은 높이)
	차체 재질	STS 304	
	인버터 정격출력	1,600KVA	
주요 장치	전차선전압	정 격	직류(1,500V)
	팬타그래프	압상력	6kgf
		작동압력	4~6kg/㎠
	견인전동기	3상 농형 유도전동기	
	주전력제어	VVVF 인버터 제어방식	
	보조전원장치(SIV)	170KVA	
	제동장치	전기제동식 공기제동	
		제동방식	회생제동병용 공기제동
	열차제어/운전방식	ATC/ATO	
	열차모니터링시스템	TCMS(열차종합감시 및 제어장치)	
대차	대차종류	구동대차	M
		부수대차	T, Tc
	고정축거	2,100mm	
	중량	구동대차	7,300kg
		부수대차	5,500kg
기타	중량(공차)	제어차(Tc) : 30.0ton	구동차(M1) : 39.0ton
		구동차(M2) : 39.0ton	부수차(T) : 28.0ton
	정 원(편성)	1,256석(Tc : 148, M1 : 160, M2 : 160, T : 160)	

[표 8] 사고열차 고장차량 주요제원

1.5.3 사고열차의 고장차량 검사 현황

사고열차의 고장차량은 2015년 6월 30일 전반검사(4년)를 완료하였고, 전반검사 이후 정기 유지보수 이력은 [표 9]와 같다. 전반검사[6](4년) 이후 사고 당일까지 주행키로는 156,767km이다.

6) 전반검사 : 일정한 검사주기(4년)가 왔을 때 영구 결합부분을 제외한 해당 부품을 해체하여 분해검사·정비 및 시험하여 차량의 성능을 최적의 상태로 유지시키는 과정

신조도입	입·출고검사	일상검사(7D)	월상검사(4M)	전반검사(4Y)
1995. 4. 15.	‘17. 1. 이후 운행 중지로 미시행	‘20. 5. 1	‘20.3.27. ‘19.11.21. ‘19. 7.23	‘15.6.30

[표 9] 사고열차 고장차량 종별 검수이력

1.5.4 차륜교환 및 삭정 기록

사고차량의 최근 차륜교환, 차륜 삭정 및 차륜 측정이력은 [표 13]과 같다.

차륜교환	차륜교환	차륜 삭정 및 측정	비 고
일 자	‘15. 6. 30	‘17. 7. 14	
사 유	마모한도 도래	후렌지 마모	

[표 13] 사고열차 고장차량 차륜 삭정 및 교체 이력

1.5.5 차륜 및 축상 높이

사고 전·후 탈선된 차량의 차륜 및 축상 높이 측정값은 [표 14]와 같다.

차호	위수	차륜직경		후렌지 높이		후렌지 두께		축상 높이				차륜 내면거리 (사고 후)
		전	후	전	후	전	후	전		후		
								좌	우	좌	우	
5518호 (T2)	1	850	850	25	25	32.5	32.5	45	45	44	45	1,356
	2	850	850	25	25	32.5	32.5					
	3	850	850	25	25	33.0	33.0	45	45.3	48	47	1,356
	4	850	850	25	25	33.0	33.0					
	5	850	850	25	25	33.5	33.5	45.3	45.3	45	49	1,356
	6	850	850	25	25	33.5	33.5					
	7	850	850	25	25	32.0	32.0	45.5	45.5	42	45	1,356
	8	850	850	25	25	32.5	32.5					
5318호 (M2)	1	850	850	25	25	33.5	33.5	41.5	40.5	43	39	1,356
	2	850	850	25	25	32.0	32.0					
	3	850	850	25	25	32.5	32.5	41	40	42	40	1,355.5
	4	850	850	25	25	32.5	32.5					
	5	850	850	25	25	33.5	33.0	40.2	42	40	41	1,356
	6	850	850	25	25	33.0	33.0					
	7	850	850	25	25	32.5	32.5	40.7	42	40	42	1,356
	8	850	850	25	25	33.0	33.0					
기준치 (mm)		778~860		23~34		25~35		T:45±5, M:40±5				1,354+2

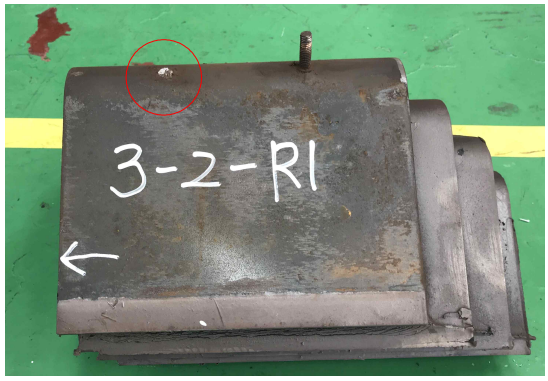
[표 14] 사고 전·후 차륜 및 축상 높이 측정 기록

1.5.6 현수장치 교체실적, 강성 등

서울교통공사는 2018년 1월 이후 5호선 탈선차량에 적용된 규격의 1차, 2차 현수장치의 교체주기를 각각 18년과 21년으로 선정[7]하고 사고당시까지 1차 현수장치는 총 608량 중 208량을 2차 현수장치는 608량 중 26량을 교체하였으나, 사고차량은 신차 도입 이후 사고 당시까지 교체한 실적은 없었다.

[그림 8]에서 보듯이 사고 직후 탈선차량의 1차 현수장치(세브론 고무) 상태 점검결과, 총 32개(14개/량) 중 진행방향 4번째(5518호) 차량에서 2개, 6번째(5318호) 차량에서 5개의 취부 볼트가 탈락된 상태였다.

5518호(총 18개중 5개 불량)



5318호(총 18개중 2개 불량)

[그림 8] 1차 현수장치 취부볼트 상태

1.5.6.1 1차 현수장치(Chervron Rubber) 강성 측정

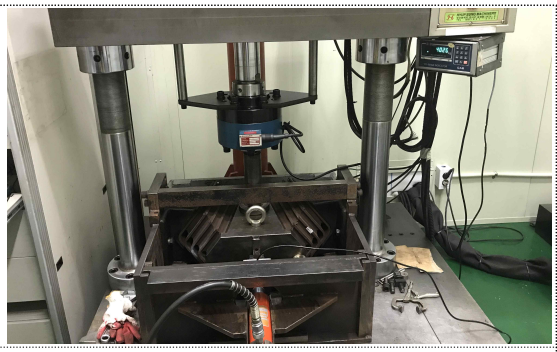
탈선차량에 취부된 1차 현수장치의 강성 측정결과 [표 15]와 같이 모든 스프링의 강성이 설계치 대비 17~28% 증가된 것을 확인하였다.

7) 서울교통공사 2018년 전동차 유지보수용 내구연한품 선정 심의위원회 심의결과

특성치	수직 강성 (KN/mm)			
	T(5518호)		M(5318호)	
	공차	만차	공차	만차
설계치	1.60		2.00	
측정치	2.00 (탈선대차 평균)	2.04 (탈선 대차 샘플 1set)	2.33 (탈선 대차평균)	2.45 (탈선 대차 샘플 1set)
증가율	125%↑	128%↑	117%↑	122%↑

[표 15] 1차 현수장치 수직강성 측정결과

1차 현수장치(사용품 32개, 신품 2개)



강성 측정

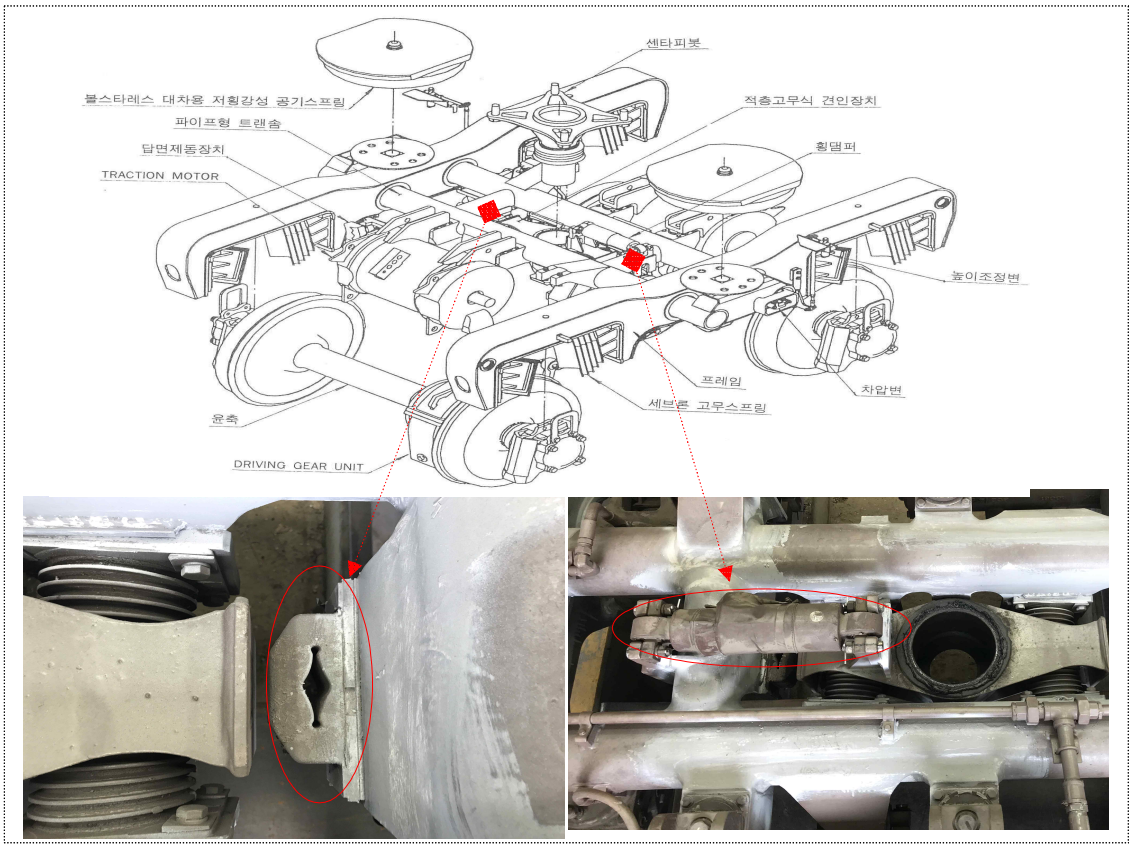
[그림 9] 1차 현수장치 강성측정 과정

1.5.6.2 탈선차량 대차검사

탈선차량에 적용된 2차 현수장치(공기스프링[8])의 낮은 횡방향 강성 특성을 보완하기 위한 횡 댐퍼[9](Lateral Damper)와 횡 버퍼[10](Lateral Buffer) 상태를 차체와 대차를 분리하여 검사한 결과 취부상태 등 문제점은 없었다.

2015년 6월 30일 전반검사(4년) 시행기록을 확인한 결과 '유지보수 예규'의 점검기준에 따른 횡 댐퍼의 취부 및 누유 상태와 성능검사(감쇄력), 상태검검 결과는 양호하였으나, 횡 버퍼에 대한 완충고무 탄성검사 및 압축시험 결과는 없었다.

8) 공기스프링 : 차체와 직접 연결되어 수직하중을 부담하고, 승차감 향상과 원활한 곡선통과를 위해 횡방향 강성이 낮음
9) 횡 댐퍼 : 대차 프레임 및 센터 피봇 블록에 취부되어 공기스프링을 저횡강성을 보완토록 적절한 감쇄력을 보유(2개/량)
10) 횡 버퍼 : 대차 프레임에 취부되어 공기스프링의 저 횡강성에 대응하는 유연성 완충 고무(4개/량)



[그림 10] 5호선 대차 조립도(M-car) 및 완충장치(댐퍼, 버퍼) 취부상태

1.5.7 차량피해

[그림 11]에서 보듯이 진행방향 4번째 차량(5518호) 및 6번째 차량(5318호)의 차체 외판 등이 파손되었다.

차체 외판 손상(5318호)	객실 창문 파손(5518호)

[그림 11] 사고열차의 피해 상황

1.6 신호・전기정보

1.6.1 신호정보

사고구간의 신호설비는 [표 16]에 보듯이 전자연동장치, 자동폐색, 차상신호, 본선 AF궤도회로, 분기부 PF궤도회로, ATC 방식으로 구성되어 있다.

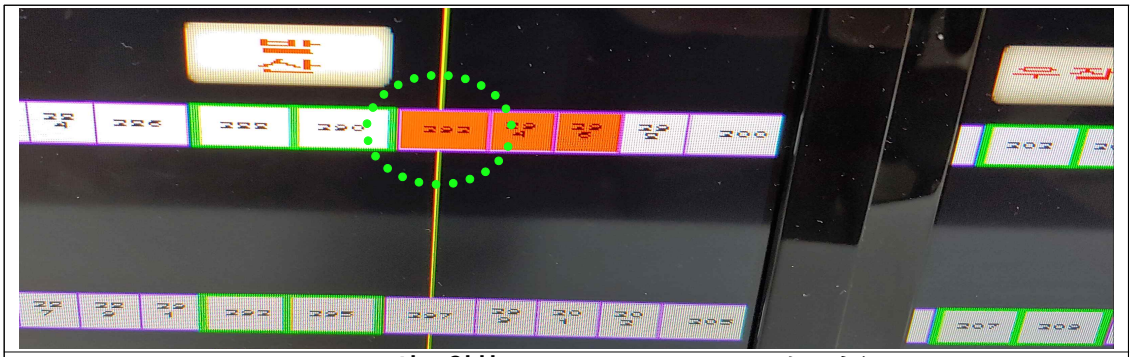
설비구분	연동장치	선로전환기	폐색방식	궤도회로	열차제어
사용방식	전자연동장치	NS-AM형	자동폐색 차상신호	본 선 AF 분기부 PF	ATC 방식 ATO 방식
설치년도	1996년	2018년	1996년	1996년	-

[표 16] 사고구간 신호설비 구성

개화산 신호관리소 통합표시장치에는 우장산역과 발산역의 신호설비 동작시간이 기록된다. [그림 12]에 보듯이 개화산 신호관리소 통합표시장치의 기록시간이 표준시간보다 2분4초 늦게 표시되어서 표준시간으로 보정하여 보고서에 기록하였다.

[그림 12] 개화산 신호관리소 통합표시장치 표준시간 비교(표준시간 대비 2분4초 느림)

개화산 신호관리소 통합표시장치의 기록을 보면, 사고열차가 우장산역을 출발하여 사고발생시(01:37:02~01:37:44)까지 [그림00] ①~④에 나타난 것처럼 신호와 진로는 양호한 상태로 나타났다.



① **1:37:02 사고열차** 292T, 294T, 296T 궤도점유

② **1:37:16 사고열차** 290T, 292T, 294T, 296T 궤도점유

③ **1:37:30 사고열차** 288T, 290T, 292T, 294T 궤도점유

④ **1:37:44 사고열차** 286T, 288T, 290T, 292T, 294T 궤도점유

[그림 13] 신호 장치 표시화면(사고열차 우장산역 ⇒ 발산역 운행화면)

1.6.2 전기정보

사고구간은 지하 복선 전철구간으로 강체가선 DC 1500V방식으로 되어 있으며, 사고와 관련된 이벤트 기록은 없는 것을 확인하였다.

1.7 기상정보

2020년 5월 24일 01시경 서울시의 날씨는 기온 18.7℃, 습도 79%로 약한 비가 내렸으나 사고 구간이 지하 터널로 기상조건이 탈선 사고에 영향은 미치지 않았다.

2. 분석

관계인 의견청취 결과를 반영하여 분석내용을 확정할 것이다.

3. 결론

분석 결과 등을 종합 반영하여 결론을 정리할 것이다.

4. 사고원인 및 안전권고

이 사고조사와 관련된 사고원인 및 안전권고는 아직 확정되지 않았다.

5. 향후계획

- 관계인 의견청취 결과 검토 : 2021. 5월 ~ 6월
- 의원회 심의 및 공표 : 2021. 6월

※ 이 보고서는 중간 보고서이므로 우리 위원회 최종보고서 공표 시 그 내용이 달라질 수 있습니다.

이 보고서는 사고조사 과정에서 관계인들로부터 청취한 진술 및 개인정보 등이 포함되어 있어,

『항공·철도사고조사에 관한 법률』제28조(정보의 공개금지) 및 같은 법 시행령 제8조(공개를 금지할 수 있는 정보의 범위)에 의하여 이 보고서(인쇄본)에 개인정보는 공개하지 않았으며,

국민여러분의 이해를 돕기 위해 전문 철도용어를 쉽게 풀어서 쓴 점을 양해하여 주시기 바랍니다.

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.

항공 · 철도사고조사위원회
http://www.araib.go.kr
전화: 044-201-5427
E-mail: araib@korea.kr