

철도사고조사보고서

한국철도공사

중앙선 북영천-화산역 사이

화물열차 제3352열차

열차탈선

2024년 1월 7일(일) 10시 04분경



2024. 10. 14.



항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 『항공·철도사고조사에 관한 법률』 제2조에 따라 사고조사가 이루어졌으며, 제25조에 따라 작성되었다.

같은 법률 제1조에서 ‘철도사고 조사는 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고의 예방과 안전 확보에 이바지함’을 목적으로 하고 있다.

또한, 같은 법률 제30조에 따라 ‘사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정처분절차 또는 행정쟁송 절차와 분리·수행’되어야 하고,

제32조에서 ‘위원회에 진술·증언·자료 등의 제출 또는 답변을 한 사람은 이를 이유로 해고·전보·징계·부당한 대우 또는 그 밖에 신분이나 처우와 관련하여 불이익을 받지 아니한다.’라고 규정하고 있다.

그러므로 이 조사보고서는 철도분야의 안전을 증진시킬 목적 이외의 용도로 사용되어서는 아니 된다.

차 례

제목	1
개요	2
1. 사실 정보	4
1.1 사고의 경위	4
1.2 피해사항	5
1.3 관계자 인적정보 및 업무수행사항	6
1.4 운전정보	10
1.5 차량정보	13
1.6 선로정보	31
1.7 전기 및 신호정보	38
1.8 기상정보	41
2. 분석	42
2.1 관계자 업무수행 분석	42
2.2 차량분석	46
2.3 화물적재 분석	53
2.4 선로분석	53
2.5 신호분석	54
2.6 종합분석	55
3. 결론	57
3.1 조사결과	57
3.2 사고원인	60
4. 안전권고	60
4.1 한국철도공사에 대하여	60

한국철도공사 중앙선 북영천-화산역 사이 화물열차 탈선사고

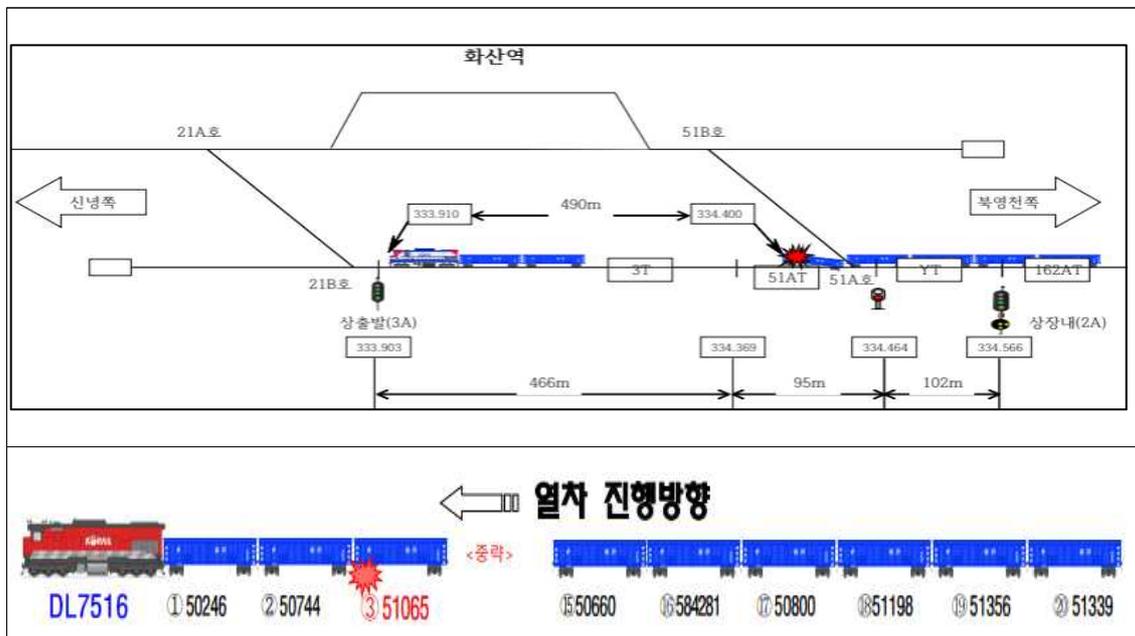
- 운영기관: 한국철도공사
- 운행노선: 중앙선
- 발생장소: 북영천~화산역 사이(청량리역 기점 341.314km)
- 사고열차: 제3352호 화물열차(괴동-도담, 편성: 21량, 탑승자: 2명)
- 사고유형: 열차탈선
- 발생일시: 2024년 1월 7일(일) 10시 04분경



[그림1] 사고 열차 운행 노선도

개요

2024년 1월 7일(일) 10시 04분경 한국철도공사 제3352호 화물열차(괴동역 08:52→도담역 13:08, 편성 21량, 탑승자 2명)가 괴동역에서 출발검사 후 08시 52분에 출발하여 북영천역 0.9km 지난 청량리역 기점(이하 ‘량기’라 한다) 341.300km 지점에서 기관차로부터 3량째 화차 51065호 전부 대차가 탈선(09:46)하여 호당 4 견널목(량기 340.278km) 위치에서 비상 정차(09:48)하였으나, 탈선 상황을 확인하지 못하고 재출발(09:49)하여 화산역 구내 51A 분기기 부근에서 2번째 화차와 3번째 화차가 분리되어 비상제동이 체결되면서 최종 정차하였다.



[그림2] 사고 개요도

이 사고로 인명피해는 없었으나 차량·선로·신호 시설물 등이 파손되었으며 일부 열차가 지연되거나 운행 중지되었다.

이에 항공·철도사고조사위원회는 『항공·철도사고조사에 관한 법률』 제2조 및 제18조에 따라 사고조사를 시행하였다.

이번 한국철도공사 중앙선 북영천~화산역 사이에서 발생한 화물열차 탈선

사고의 원인은 ‘차축 베어링의 발열로 해당 부분의 차축이 절손되고 윤축이 유동되어 대차가 불안정해진 것’으로 결정하였다.

또한, 기여 요인은 ‘① 베어링 결함 등을 조기에 탐지하지 못한 점, ② 열차 운행 중 차축 발열이 발생하여도 검지할 수 있는 설비가 없는 점’으로 결정하였다.

따라서 항공·철도사고조사위원회는 『항공·철도 사고조사에 관한 법률』 제 26조에 따라 한국철도공사에 3건의 안전권고를 발행한다.

1. 사실정보

1.1 사고의 경위

사고열차는 2024년 1월 7일(일) 출발검사를 마친 후 괴동역을 출발(08:52) 하여 북영천역에서 정차·재출발(09:45) 하였다. 이후 0.9km 지난 량기 341.300 km 지점에서 43km/h의 속도로 운행하던 중 기관차로부터 3번째 연결된 화차 51065호 전부 대차 1위측 우측 축상의 발열로 차축 저널부가 절손되면서 09시 46분경 최초 탈선하였고, 열차 후부에서 먼지 발생 등의 이상을 감지한 기관사가 비상제동을 취급하여 정차하였다.

이때 사고열차가 정차한 곳이 호당4건널목(량기 340.278km)상에 위치하여 자동차 통행을 위해 열차탈선 사실을 확인하지 않은 채 재출발(09:49)하였다. 이후 신녕역 로컬관제와 통화하며 화산역에 정차하여 열차 상태를 확인하고자 하였으나 최초 정차 위치에서 5.847km를 더 운행 후 화산역 상장내 신호기를 지나 51A 분기기 부근에서 2번째 화차와 탈선 차량인 3번째 화차 사이가 분리되면서 비상제동이 체결되어 10시 03분경 최종 정차하였다.

사고열차의 차량은 사고 3일 전 1월 4일 괴동역에서 일상정비를 시행하였고, 1월 6일 화물(광재)을 적재하였으며, 도담역까지 가는 무개화차였다.

1.2 피해사항

1.2.1 인명피해

이번 사고로 인한 인명피해는 없었다.

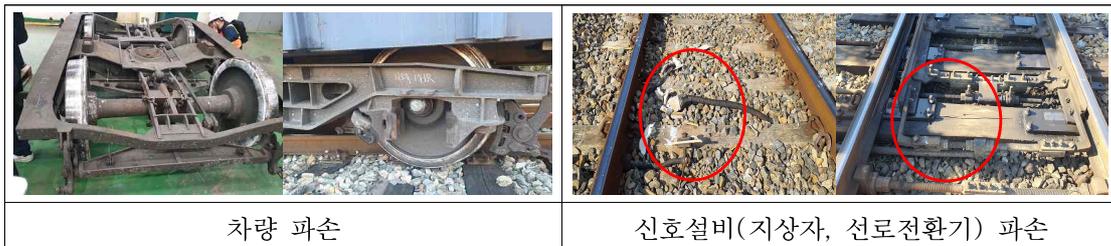
1.2.2 물적피해

이 사고로 인하여 차량분야는 차축, 차륜 등 파손으로 9.4백만 원, 시설분야는 침목, 절연레일 등 22백만 원, 신호 분야는 ATS 지상자 2개, 선로전환기 간류 1조 등이 파손되어 약 1.9백만 원 총 33.3백만 원의 피해가 발생하였다.

(단위: 천원)

구 분	물적 피해				
	계	신호	궤도	차량	기타
피해금액	33,328	1,938	21,930	9,460	-

[표1] 물적피해 현황(공사 제공)



[그림3] 시설물 피해 현황

1.2.3 기타 피해

이 사고로 3개 열차가 지연(20~71분) 운행되었고, 운영사는 270여 건의 지연료 환불과 철도이용객의 불편을 초래하였다.

1.3 관계자 인적정보 및 업무수행 사항

1.3.1 본무기관사

사고열차의 기관사 ○○○(29세, 남, 이하 ‘본무기관사’라 한다.)은 2019년 6월 27일 한국철도공사 포항기관차승무사업소에 부기관사로 입사하여 2023년 11월 1일부터 기관사로 근무 중이었고, 디젤차량 운전면허를 보유하고 있었으며, 사고 당일 기관사 2인이 승무하여 괴동~화산역 구간의 본무기관사¹⁾로 사고열차 운전을 담당하였다.

근무 일정은 2024년 1월 4일 근무, 1월 5~6일 휴일, 사고발생일인 1월 7일 포항역에서 L3352 열차(디젤기관차 7516호)로 출발(07:50)하여 괴동역에 도착(08:13) 후 광재 실은 화차 20량을 연결하여 영주역까지 운행할 예정이었다.

본무기관사는 승무 전 시행한 승무적합성검사에서 적합 판정을 받은 후 괴동역을 출발하기 전 수송담당 직원으로부터 화물열차 출발검사 결과가 양호하다는 통보를 받고 출발(08:35)하였다.

본무기관사는 괴동역을 출발하여 북영천역에 정차(09:39) 후 출발(09:45)하여 약 50km/h 속도로 운행 중 호당4철도건널목 직선구간에서 열차 후부에서 평소보다 먼지가 많이 나는 것을 발견하여 보조기관사에게 후부 확인을 요청하여 이상이 없다는 대답을 들었으나, 본무기관사 위치에서는 계속 먼지가 보여 이상이 있다고 판단하여 비상제동을 취급하여 호당4철도건널목 위치에 정차(09:48)하였다.

호당4철도건널목 양쪽에는 10여 대의 자동차들이 통과하기 위해 대기하고 있어, 열차 후부를 확인하지 않은 상태에서 건널목을 개통해 주기 위해 다음 건널목인 호당3철도건널목까지 가려고 열차를 앞으로 이동시켰다고 진술하였다.

1) 기관사 2인 승무의 경우 본무와 보조로 구분, 직접 운전하는 기관사를 본무기관사, 기관사를 보좌하는 기관사를 보조기관사라 함(공사 동력차승무원 지도운용내규 제3조)

본무기관사는 사고열차가 철도건널목에서 정차하여 도로 통행에 지장을 주는 상태라 차에서 내려 열차 후부까지 확인하고 돌아오면 시간이 오래 걸릴 것 같아 건널목을 먼저 개통해 주고자 하였으며, 철도 건널목 지장 시 운전 취급에 대해서는 교육받지 못하였다고 진술하였다.

본무기관사는 열차가 탈선한 것이라고는 생각하지 못하고 화차에 실린 모래 형태의 광재가 화차의 문 틈새로 흘러내리면서 생긴 모래 먼지라고 생각하여 열차를 이동시켜도 문제가 없을 것으로 판단했다고 진술하였다.

열차 후부에서 발생한 연기를 먼지라고 생각한 사유에 대해, 차축 발열이라면 연기와 함께 불꽃이 발생하는데 불꽃이 보이지 않았고, 제동불완해라면 견인력 이상이 감지되는데 견인력에 이상을 느끼지 못했다고 진술하였다.

호당4철도건널목 개통이 가능한 호당3철도건널목까지 이동하기 위해 45km/h 속도로 운행하면서 신녕역을 호출²⁾하여 열차에 이상이 있어 화산역에 정차하여 확인해 보겠다고 통보하여 신녕역 로컬관제원으로부터 화산역 정차를 승인받았다(09:53)고 진술하였다.

화산역 정차를 승인받은 약 2분(09:55) 후에 연기가 많이 나서 선로에 정차해서 확인하고 가겠다고 신녕역에 다시 정차 요청을 하였으나 신녕역 관제원으로부터 건널목이 많아서 선로에 정차하지 말고 화산역까지 들어오라는 지시를 받고 화산역 장내신호기 진입 전까지 운행 후 보조기관사와 교대하였다고 진술하였다.

1.3.2 보조기관사

사고열차의 보조기관사 ○○○(51세, 남, 이하 ‘보조기관사’라 한다.)은 1996년 11월 14일 철도청(현, 한국철도공사) 포항기관차승무사업소에 부기관

2) 화산역은 무인역이므로 신녕역에서 신호 취급(Local 취급)함

사로 임용되었으며, 2006년 5월 2일부터 기관사로 근무 중이었고, 디젤차량, 제1종 및 제2종 전기차량 운전 면허를 보유하고 있었으며, 사고 당일은 괴동~화산역 구간은 보조기관사, 화산역부터 본무기관사로 승무하였다.

보조기관사의 근무 일정과 운행경로는 본무기관사와 같았으며, 승무 전 시행한 승무적합성검사에서 적합 판정을 받았다.

보조기관사는 화산역 진입 전 장내신호기 외방에서 본무기관사와 교대(10:00경)하여 장내신호기에 주의신호, 출발신호기에 정지신호가 현시된 것을 확인하고, 약 8km/h 속도로 장내신호기 안쪽으로 진입하며 후부를 확인할 때 3번째 화차가 흔들거리는 것을 발견하고 비상제동을 취급(10:03)하였다고 진술하였다.

비상제동 취급 후 기관차 후부의 화차가 2량만 연결된 것을 확인하였으며, 정차 후 3번째 화차의 전부 대차가 진행 방향 오른쪽으로 탈선한 것을 발견 후 신녕역에 탈선 사실을 보고하고 복구용 기중기 출동을 요청하였다고 진술하였다.

1.3.3 신녕역 로컬관제원

신녕역 로컬관제원 ○○○(55세, 남, 이하 ‘로컬관제원’이라 한다.)은 1996년 12월 26일 철도청 영주객화차사무소에 차량관리원으로 임용된 후 2007년 2월 1일 사무영업직으로 전직하였으며, 2015년 9월 17일 관제원 교육을 이수하여 2023년 9월 1일부터 로컬관제원으로 근무 중이었다.

신녕역 로컬관제의 담당 구간은 봉림역(무인역), 갑현역(무인역), 신녕역, 화산역(무인역)이며 역장, 수송원, 로컬관제원이 근무하고 있었다.

로컬관제원은 사고발생일 09시 53분경 사고열차 기관사로부터 열차가 이상이 있어 화산역에서 차량 상태를 확인하고 가겠다는 무전 통보를 받고 철

도교통관제센터 관제사에게 보고하여 사고열차의 화산역 정차를 승인하였다고 진술하였다.

사고열차의 화산역 정차 승인 이후 09시 55분경 사고열차 기관사로부터 연기가 많이 나서 잠시 정차하겠다는 무전을 받고 확인하니, 열차 운행 위치가 삼부건널목과 석촌건널목 부근이라 열차가 정차하면 건널목을 지장하게 되어 화산역까지 들어오라고 지시하였다고 진술하였다.

로컬관제원은 10시 03분경 사고열차 기관사로부터 화산역 장내신호기 안쪽 선로전환기 부근에서 3번째 화차가 탈선했다는 통보를 받고 관제사에게 보고하였으며, 10시 10분 중앙취급³⁾ 중이던 화산역 신호 취급을 신녕역 로컬 취급으로 전환하였다고 진술하였다.

로컬관제원은 신녕역 표시제어부 화면에서 화산역 3번선(상본선) 궤도회로가 점유된 것으로 탈선을 확인한 후 인접역인 탑리역과 영천역에 역간 폐색 전화기로 통보하였고, 신녕역 역장이 안동 그룹역에 휴대전화로 탈선 사실을 보고하였다고 진술하였다.

이후 로컬관제원은 운전취급을 신녕역장에게 인계하고 비상용품을 챙겨 화산역으로 이동하여 사고열차가 화산역 상장내신호기 안쪽으로 진입하여 51A호 선로전환기를 지난 위치에서 전부 대차 차륜 4개가 오른쪽으로 탈선된 것을 확인하였다고 진술하였다.

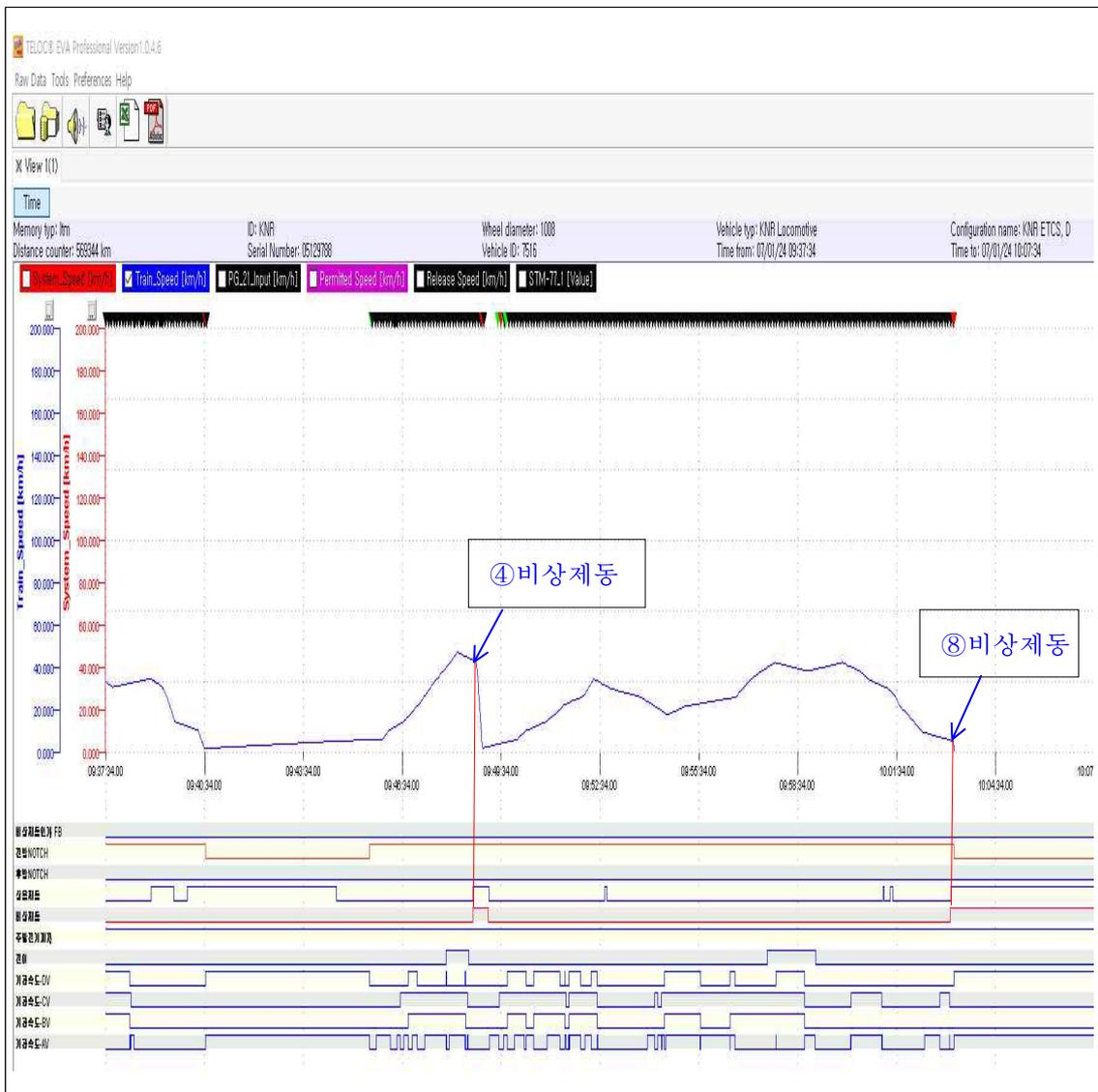
로컬관제원은 열차가 건널목을 지장하지 않도록 하라는 규정은 없으나, 신녕~화산역 구간은 건널목 관련 민원이 많은 지역이라, 건널목 지장을 최소화하기 위해 정거장 외 입환을 최소화하는 방식으로 시행하고 있으며, 군위역이 신설되면 폐선 예정이라고 진술하였다.

3) 철도교통관제센터에서 화산역의 신호를 취급하는 상태

1.4 운전정보

1.4.1 사고열차 운행기록

사고열차가 북영천역을 출발(09:45:38)하여 북영천~화산역 사이를 운행 중 43km/h 속도에서 비상제동을 취급(09:48:42)하여 정차 후 재출발(09:49:29)하였고, 화산역 진입 중 9km/h의 속도에서 열차가 분리되면서 비상제동이 체결(10:03:11)되어 정차한 것으로 기록되어 있었다.



[그림4] 열차 운행 기록(디젤기관차 7516호)

구분	시간	속도 (km/h)	누적거리(m)	운전취급	비고
①	09:35:11	32	1,196	영천역 통과	
②	09:40:35	0	0	북영천역 도착	
③	09:45:38	0	0	북영천역 출발	
④	09:48:42	43	1,362	비상제동 체결	후부 이상 감지
⑤	09:49:00	0		열차정차	
⑥	09:49:10	0	1,504	비상제동 복귀	
⑦	09:49:29	0		열차 출발	
⑧	10:03:11	9	7,340	비상제동 체결	화산역 진입 중 열차 분리
⑨	10:03:18	0	7,351	열차정차	

1.4.2 무선 통화기록

사고열차의 기관사와 신녕역 관제원 간 열차무선 통화기록은 [표2]와 같다.

시 간	기관사	신녕역 관제원
09:53:38	신녕, 3352 기관사 이상!	
		3352 말씀하세요.
	차량에 연기가 자꾸 나서 그러는데, 화산에서 정차했다가 갈게요.	
		예 화산 정차요.
09:54:18	기관사 이상!	철도 3352 열차 신녕역 이상!
		관제에서 휴대폰 개방하시랍니다.
09:55:09	신녕, 3352 기관사 이상! 철도 신녕역 3352 기관사 이상!	
09:55:29		신녕역입니다.
	연기가 많이 나서 그러는데요, 잠시 섰다갈게요.	
		네, 화산역에 정차하십시오. 연락되었습니다, 휴대폰 개방하십시오.
	화산역까지...	
		화산역에 정차하신다면서요. 본다면서요?
	여객 내려오는 것 없어요? 거기까지 갈 수 있어요.	
		예. 지금은 다니는 열차 없습니다. 1601이 최초 열차가 되겠습니다.
	선로에 섰다가 가면 안되요?	
	어디예요? 현위치예요? 화산역까지	

		들어오셔야 해요, 거기 건널목이 많아서 거기 서 계시면 안되요, 최대한 들어와 주세요.
10:03:07	철도 신녕, 철도 신녕, 3352열차.	
	탈선했습니다.	3352열차는 조금 더 들어오셔야 되요, 후부 걸렸어요.

[표2] 열차무선 녹취록

1.4.3 CCTV 영상

사고열차는 [그림5]와 같이 서경주역 통과 시 최초로 불꽃 발생이 확인되었고 이후 역에서는 이상징후가 확인되지 않았다.

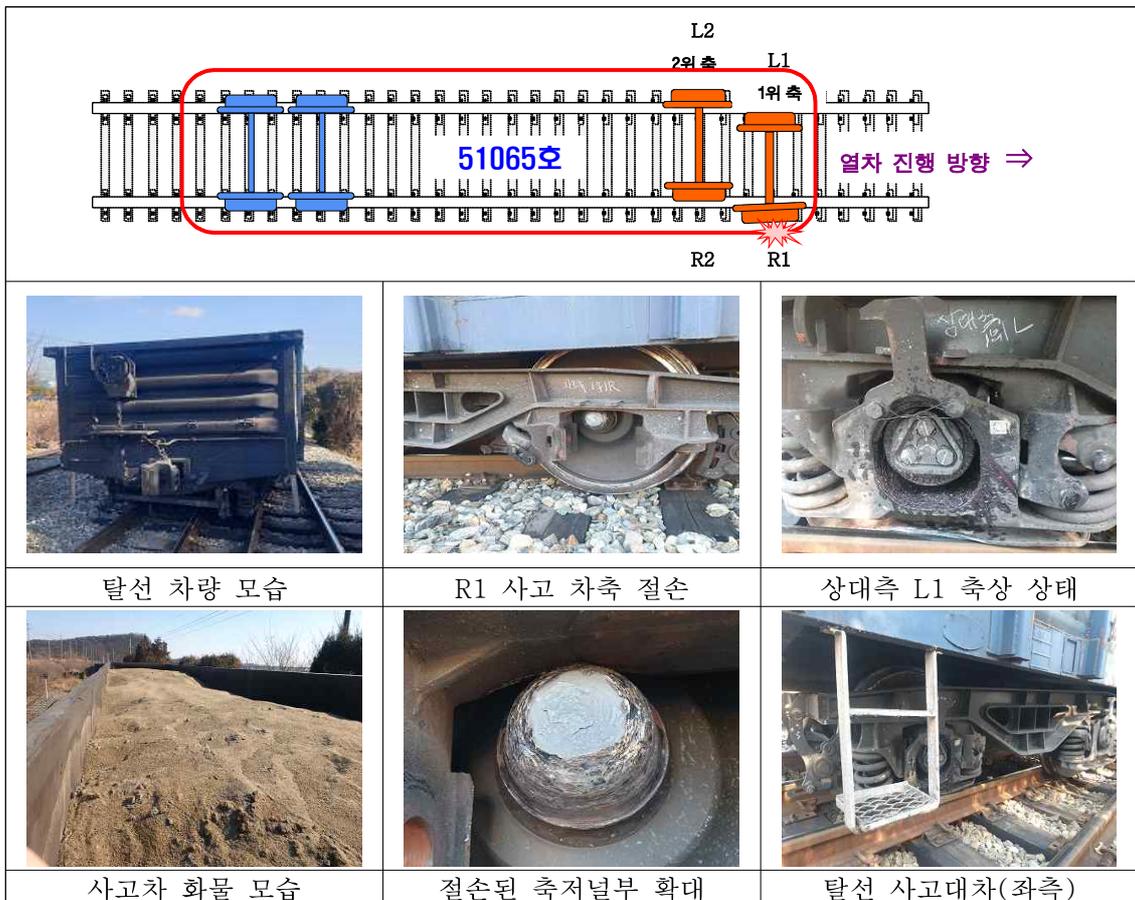


[그림5] 서경주역 CCTV 영상(9:05:54)

1.5 차량 정보

1.5.1 사고차량 상태

사고차량은 [그림6]과 같이 전부 대차⁴⁾ 1위 축은 선로 우측, 2위 축은 선로 좌측으로 대차가 뒤틀려 탈선한 상태였으며, R1 축상은 저널부가 팽이처럼 각여 소실된 상태였고, 상대측인 L1 축상은 탈선 후 운행 충격으로 그리스가 흘러내린 상태였으며 엔드캡 취부 볼트는 이완되어 있었다.



[그림6] 사고차량 탈선 상태

[그림7]은 사고대차가 틀어져 탈선된 상태를 보여주며, 1위 축 사고축상의 상대측 좌측 축상(L1)은 엔드캡 고정볼트가 이완되고 그리스가 누유된 상태를 보여주고 있다.

4) 이하 보고서에서는 전부 대차를 사고대차로, 사고대차의 1위축 좌측 부분을 L1, 우측 부분을 R1, 2위축 좌측 부분을 L2, 우측 부분을 R2로 표기하였다.



[그림7] 사고대차 틀림 탈선 상태 및 상대측 축상 상태

R1 축상하우징은 [그림8]과 같이 탈선 후 운행 충격으로 량기 343.600km 지점에서 스프링과 함께 탈락한 상태로 발견되었으며, 절손된 축 저널부는 엔드캡이 붙어 있는 상태로 현저터널 내(량기 356.920km)에서 발견되어 수거하였다.



[그림8] 사고현장에서 발견된 R1 축상 하우징과 축저널부

1.5.2 사고열차의 조성

사고열차는 [표3]과 같이 디젤기관차 7516호와 무개화차 20량으로 구성되어 있었고, 도담역까지 운송되는 시멘트 재료인 광재를 적재하고 있었으며, 사고차량 51065호는 진행 방향 앞에서부터 3번째 연결되어 있었고, 차중률⁵⁾은 환산 1.7, 차장률⁶⁾은 1.0이었다.

5) 차중률: 차량 1량의 총 중량(자체중량+적재중량)을 화차는 43.5ton을 1로 기준

6) 차장률: 차량의 길이에 대한 비율로 14m를 1로 표기

제3352 열차 조성 순서						
No	차량번호	차종	화물적재	도착역	차중률	차장률
기관차	7516	디젤기관차	-	-	-	-
1	50246	무개차	영차	도담	1.70	1.0
2	50744	무개차	영차	도담	1.60	1.0
3	51065	무개차	영차	도담	1.60	1.0
4	51374	무개차	영차	도담	1.60	1.0
5	50378	무개차	영차	도담	1.70	1.0
6	51325	무개차	영차	도담	1.70	1.0
7	50900	무개차	영차	도담	1.70	1.0
8	50967	무개차	영차	도담	1.70	1.0
9	51357	무개차	영차	도담	1.70	1.0
10	50314	무개차	영차	도담	1.70	1.0
11	584253	무개차	영차	도담	1.70	1.0
12	51017	무개차	영차	도담	1.70	1.0
13	50247	무개차	영차	도담	1.70	1.0
14	50374	무개차	영차	도담	1.70	1.0
15	50660	무개차	영차	도담	1.70	1.0
16	584281	무개차	영차	도담	1.70	1.0
17	50800	무개차	영차	도담	1.70	1.0
18	51198	무개차	영차	도담	1.70	1.0
19	51356	무개차	영차	도담	1.70	1.0
20	51339	무개차	영차	도담	1.70	1.0

[표3] 3352열차 조성 현황(철도공사 XROIS 발취)

1.5.3 사고차량 제원

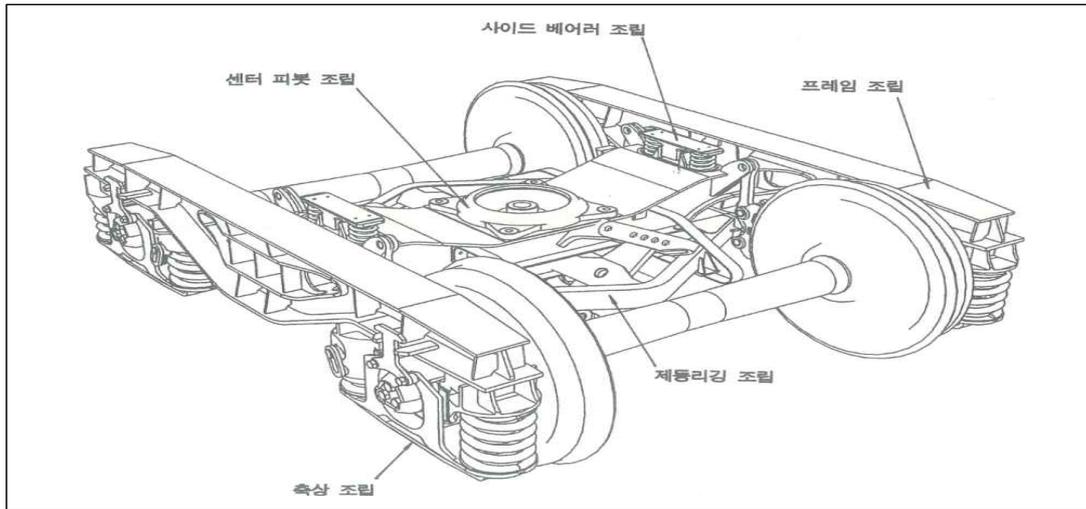
사고차량 51065호는 무개화차로 2004년 8월 10일 ‘(주)고려차량’에서 제작하였고, [표4]와 같이 내구연한 30년, 자중 21.7톤, 하중 54톤, 제한속도는 120km/h이다.

구 분	제 원	구 분	제 원
차량길이	13,950 mm	자중	21.7 ton
차량폭	2,887 mm	하중	54 ton
차량높이	2,468 mm	대차종류	용접대차
고정축거	1,800 mm	차축	RCT-D축
속도	120 km/h	제동장치	KRF-3, 양압식

[표4] 사고화차의 주요 제원

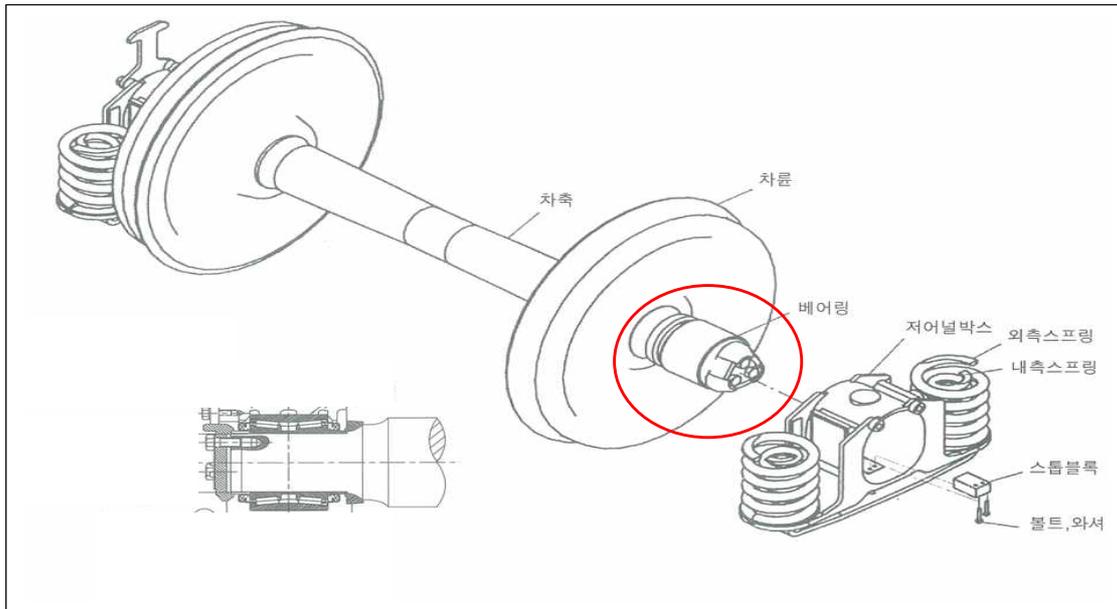
1.5.4 대차 및 윤축

사고차량의 대차는 [그림9]와 같은 용접구조형 대차이고 축종은 RCT-D축, 대차 중량은 4.6톤이다.



[그림9] 사고대차의 형상 및 구조

사고차량의 윤축(축과 차륜)의 형상은 [그림10]과 같고, 절손된 차축은 1996년 11월 제작되었으며, 축번호는 'A9611D0655'이었다.



[그림10] 사고 화차의 윤축

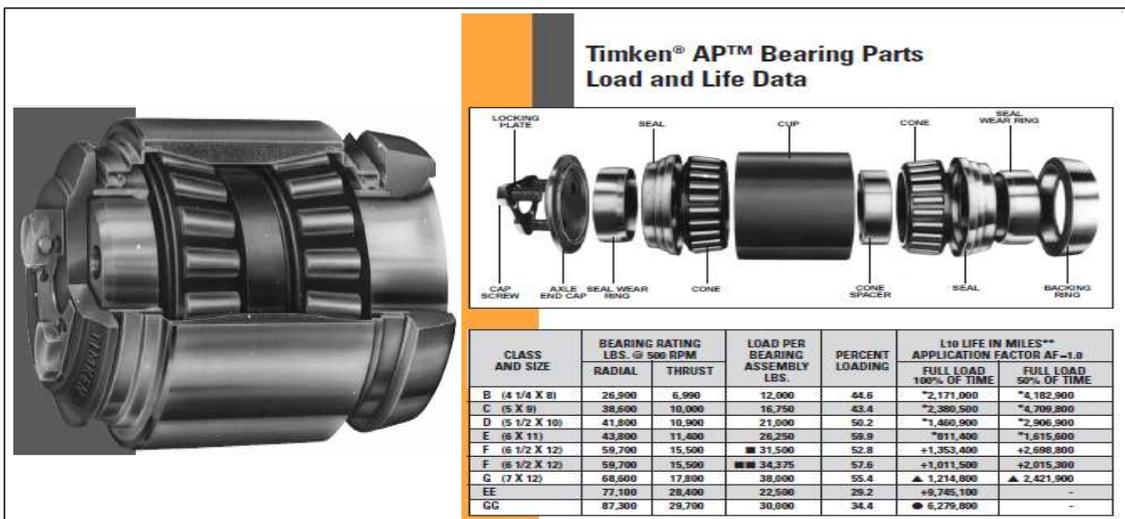
사고차량 대차의 차륜 각부를 측정한 결과, [표5]와 같이 기준 이내였다.

차축 위치	차륜 위치	플랜지 내측거리 (기준 1352~1356)	차륜직경 (기준 860~776)	플랜지		비고 (단위:mm)
				높이 (기준 25~35)	두께 (기준 34~23)	
1위	왼쪽	1,352	852	25	29	절손차축
	오른쪽					
2위	왼쪽	1,353	852	26	31	
	오른쪽					

[표5] 사고대차의 차륜 치수 측정 결과

1.5.5 사고차량의 차축 베어링

사고차량의 사고 축인 1위축은 Timken사 베어링, 2위축은 SKF사 베어링이 장착되어 있었으며, 차축 베어링의 구조는 [그림11]과 같고, 사고축 R1의 차축 베어링 번호는 ‘14-01-505718’이었다.



[그림11] 사고 화차의 베어링 구조

사고 후 사고대차를 분해하여 L1, L2, R2의 베어링 그리스를 채취하여 정밀 분석을 의뢰하였고, 손상되어 누유된 L1을 제외하고 2위 축의 축상 그리스량을 측정한 결과, [표6]과 같이 기준 이내였다.

구분	L1(TIMKEN)	R2(SKF)	L2(SKF)
세척 전 A	—	22.655kg	22.650kg
세척 후 B	—	22.310kg	22.290kg
그리스량(A-B)	—	0.345kg	0.360kg

			
세척 전 중량측정		세척 후 중량측정	

* SKF그리스 주입량 기준: 360±30g(※Timken 283.5±28.3g)

[표6] 축베어링 그리스량 측정 결과

사고 베어링은 [표7]의 정비 및 운영 이력에서 보듯이 2015년 7월 18일 50268호에 장착된 후 2020년 11월 GI-2 정비 시 베어링 분해정비가 시행되었고, 2020년 11월 18일부터 사고차량인 51065호에 장착되어 운행해 오고 있었다.

차량내역	운속	위수	일련번호	베어링(좌)	베어링(우)	베어링고유번호(좌)	베어링고유번호(우)	비고
무개차 일반형 50톤대	1111125115	1	A9611D0655	D20110095	D20110096	14-02-507178	14-01-505718	우측베어링(14-01-505718) ○ 우측 사고 베어링은 50268호(무개차)에 신품으로 취부(15.7.18.) ○ 직전 취부차량: 50268호 ○ 20년 11월에 GI-2정비를 위해 50268호기 대전단 인장 후 베어링은 분해정비 주기 18년을 넘지 않기 위해 분해정비 후 51065호에 취부 ○ 51065호 GI-2 후 '20.11.18. 출차
무개차 일반형 50톤대	11111490434	2	A9907D0978	D20110132	D20110139	04-09-02592	07-05-003057	좌측베어링(14-02-507178) ○ 직전 취부 차량: 50268호에 신품으로 취부(15.7.18.) 후 '20.11.월 분해정비 우측베어링(07-05-003057) ○ 직전 분해정비: '15.9.14.분해정비 하여 50354호 취부 후 '20.11.월 분해정비
무개차 일반형 50톤대	1111486630	3	A9901B2564	D20110145	D20110140	01-06-35673	07-05-001956	좌측베어링(04-09-02592) ○ 직전 취부 차량: 20379호 부산에서 확인검수(16.4) 후 '20.11.월 분해정비 우측베어링(07-05-001956) ○ 직전 분해정비: '15.9.14.분해정비 하여 50354호 취부 후 '20.11.월 분해정비
무개차 일반형 50톤대	1111089279	4	A9908B1306	D20110135	D20110094	15-03-516729	14-02-506779	좌측베어링(01-06-35673) ○ 직전 취부 차량: 15.11.월 분해정비 하여 20206호에 취부 후 '20.11.월 분해정비 우측베어링(14-02-506779) ○ 직전 취부 차량: 50268호에 신품으로 취부('15.7.18.) 후 '20.11.월 분해정비 좌측베어링(15-03-516729) ○ 직전 정비이력: 50354호에 신품으로 취부('15.9.16.) 후 '20.11.월 분해정비

[표7] 베어링 분해 정비 및 운영 이력 현황

1.5.6 사고대차의 상태조사

1.5.6.1 차축과 차륜

사고대차는 [그림12]와 같이 탈선 이후 운행 충격에 의해 대차가 틀어지고, 차륜 각부가 레일 체결장치 및 침목 등과의 반복 충격으로 찍힘 및 충격 흔적이 심한 상태였다.



[그림12] 사고차량 대차 상태 조사

사고 차축은 2020년 11월 12일 GI-2 정비 시 초음파탐상검사에서 양호하였던 것으로 확인되었고, 차축발열의 원인이 될 수 있는 차륜 담면 찰상 및 박리는 확인되지 않았다.

1.5.6.2 축상 엔드캡 고정볼트 상태

사고대차의 2위축 엔드캡 고정볼트의 조임 토크를 매뉴얼에 정해진 기준(217N·m)으로 [그림13]과 같이 체결력을 확인한 결과 정상적으로 체결된 것으로 확인되었다.



[그림13] 엔드캡 체결볼트 토크치 확인

사고축의 상대측 베어링은 탈선 이후 운행 충격으로 베어링 외륜부가 파손되어 그리스가 흘러내린 상태였으나 [그림14]와 같이 베어링 분해 시 외관상이나 분해 후 확인한 축 저널부도 특이사항은 없었고, L1을 포함한 2위 축 L2, R2의 엔드캡과 볼트도 외관상 특이사항은 확인되지 않았다.



[그림14] 상대측과 2위축 베어링 및 엔드캡 상태

1.5.6.3 사고 축상 및 저널부

탈락된 축저널부는 사고 다음 날인 2024년 1월 8일 영천-아화역 사이 현저터널 내(356.920km) 상하선 선로 사이에서 발견되어 수거하였고, [그림15]에서 보는 바와 같이 엔드캡과 고정볼트는 채워져 있었고 볼트 2개는 풀려 있

었으나 탈선 이후 운행되면서 진동 충격으로 풀렸을 것으로 판단되었다.

저널부 탈락 후 절손된 차축 끝단부는 축상하우징 상부와 접촉된 채 운행되어 평평하게 마모된 상태를 보여 축저널부(엔드캡 포함)가 탈락된 후 축상하우징이 이후 탈락된 것을 알 수 있었다.



[그림15] 탈락된 축저널부 및 축상하우징 모습

사고당일 량기 343.600km 지점 선로변에서 발견되어 수거한 축상하우징은 발열에 따른 고열로 베어링 외륜부와 하우징부가 녹아 용착된 상태였고, 손상된 롤베어링 일부가 하부 쪽으로 남아 있는 상태였다.

1.5.7 사고차량의 정비 현황

사고차량 정비주기는 공사의 「철도차량유지보수세칙」, 정비 항목은 「객화차유지보수기준」에 [표8]과 같이 정하고 있으며, 차축 베어링 분해 정비는 주행거리 80만km나 8년 주기 중 먼저 도달되는 것을 적용하고 있었다.

정비종류	약호	주기 및 회기		측상 정비 항목
		주행거리(km)	회기	
기본정비	ES	1,600	-	- 측상발열, 윤활유 누유 여부 상태 - 측상 온도 테이프 변색 및 부착 상태 확인
경정비	LI-6	40,000	12개월	- 측상 엔드캡 및 이완방지 상태
	GI-1	80,000	24개월	
중정비	GI-2	160,000	48개월	- 차축 베어링 분해 정비 1) 주행거리: 80만km 2) 회기: 8년, 분해정비 후 차차기 - 차축 베어링의 누유 및 이상음 발생 여부, 축 방향 유간 측정

[표8] 화차 유지보수 주기 및 정비 항목

사고차량 51065호 정비 시행일과 시행장소는 [표9]에서 보는 바와 같다.

차호	신조도입	ES	LI-6	GI-1	GI-2
51065호	'04.08.10. 고려차량(주)	'24.1.4. 포항차량(괴동)	-	'23.6.5. 대구차량	'20.11.18. 대전단

[표9] 사고차량 정비현황

1.5.7.1 사고차량의 경정비

사고차량의 기본정비(ES)는 2024년 1월 4일 포항차량사업소(괴동)에서 ‘측상발열 및 윤활유 누유 상태’, ‘측상 온도 테이프 변색 및 부착상태’를 점검하였으며, [표10]에서와 같이 이상 없는 것으로 기록되어 있었다.

[차량오더별 작업자 확인 리포트]

* 선임장 확인개소 : 색색깔이 붉은색으로 표시

순	판성차호	검종	오더	ACT	작업장	작업내역	확인	관리장	관리팀장	작업자1	작업자2	작업자3	작업자4	작업자5
51065	ES(기본정비)		100006402440	****		주행장치				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0010	10090	축상발열, 윤활유 누유여부 및 차륜 외형상태	B	김순철	김순철	김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0020		각종스프링(중기스프링 장치 포함) 및 마모판 외형상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0040		대차 현수고리 그리스 윤활 상태 확인				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0050		축상 온도테이프 변색 및 부착 상태 확인				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0060	10090	연결완충장치				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0070		연결완충장치 및 각 부품 체결상태 확인	A	김순철		김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0080		연결기 연결상태 및 수하상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0090		상크가이드 마모판 윤활상태 확인				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0100	10090	제동장치				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0110		제동장치 각부 외형 상태 및 제동부의 마모상태	A	김순철		김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0120		제동계통 각부 공기누설 여부(한, 기관차 연결 공기관통 시)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0130		수송제동기 작동상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0140		윤활중변 감지봉 유간상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0150		공기로스 및 담미커포팅 상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0160		각종 레버 및 핀류 상태 확인				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0170		공기케틀 수부 배출(한, 통렬기)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0180	10090	차체 및 차내설비				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0190		차체누수, 차체경사 여부				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0200		각종문비 및 발판 손잡이 상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0210		차내설비 상태(한, 자장차)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0220		측, 상단 상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0230		조차 외변경 상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0240		각종 분전반 및 조명상태(한, 자장차)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0250		발전기, 축전지 외형상태(한, 자장차)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0260		난로의 연소 및 연료 누유상태				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0270		연진발전기 기동상태 및 발전상태(한, 자장차)				김민우	김순철			
51065	ES(기본정비)		100006402440	0280		전기연결기 상태(한, 냉동컨테이너)				김민우	김순철			

[표10] 사고화차 기본정비 결과 발취

사고차량의 GI-1정비는 [표11]에서 보는 바와 같이 2023년 6월 5일 대구차량사업소에서 시행하였고, 주행장치의 ‘축상발열 윤활유 누유 여부 및 차륜 외형 상태’, ‘축상 엔드캡 및 이완방지 상태’ 점검에서 양호하였던 것으로 기록되어 있었다.

[차량오더별 작업자 확인 리포트]

* 선임장 확인개소 : 색색깔이 붉은색으로 표시

순	판성차호	검종	오더	ACT	작업장	작업내역	확인	관리장	관리팀장	작업자1	작업자2	작업자3	출고일	유지부수소속
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	****		주행장치				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0010	16040	축상발열, 윤활유 누유여부 및 차륜 외형상태	B	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0020		각종스프링(중기스프링 장치 포함) 및 마모판 외형상태				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0030		센터플레이트 상태 및 대차 각부 마모판도 조과여부	C	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0040		대차각부 마모판도 조과여부				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0050		축상 엔드캡 및 이완방지상태	B	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0060		윤활구조형 대차 축슬박스 후레입 간격조정	B	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0070		사이드베어링 유간 및 윤활각부 측정				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0080		각 삽동부 청소후 공압(합성수지제 및 마모물류부 제외)				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0100		차륜 상태 확인 및 각부 측정기록	B	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0110		센터플레이트 카본 그리스 주입(합성수지제 제외)				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0120		각종 핀류 상태(대만, 자항정비단 분해)				이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0130		대차 각부의 유간 및 삽동부의 마모, 간격, 윤활, 통의 정도조...	C	이홍수	이종대	이홍수	박태원		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0140	16040	연결완충장치				박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0150		연결완충장치 및 각 부품 체결상태 확인	A	이홍수		박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0160		연결기 연결상태 및 수하상태				박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0170		연결기 헤드부 분해상태 및 역제진류탐상	C	이홍수	이종대	박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0180		완충기 가이드 및 상크가이드장치 상태	B	이홍수	이종대	박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0190		연결기 높이 및 가이드잡거리 측정				박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0200		테일핀 조립 상태				박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0210		완충기 조립률 상태	B	이홍수	이종대	박태원	곽혁순		20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0220	16040	제동장치				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0230		제동장치 각부 외형 상태 및 제동부의 마모상태	A	이홍수		이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0240		제동계통 각부 공기누설 여부(한, 기관차 연결 공기관통 시)				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0250		수송제동기 작동상태				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0260		윤활중변 감지봉 유간상태				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0270		공기로스 및 담미커포팅 상태				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0280		각 핵로류 상태	A	이홍수		이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0290		삽동면 및 제어면 분해상태(마모구조형 제외)				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0300		자동감각가속기 기능상태	A	이홍수		이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0310		각종 제동장치 부품의 기능상태	B	이홍수	이종대	이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0320		제동 장치별 기능시험	B	이홍수	이종대	이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0330		각 발브, 코크류 분해(발브부 제외)				이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0340		브레이크 펌프 상태(대만, 자항정비단 분해)	B	이홍수	이종대	이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소
51065	GI-1(일반정비)		100006246685	0350		각종 레버 및 핀류 상태(대만, 자항정비단 분해)	A	이홍수	이종대	이승현	이홍준	장지철	20230605	대구차량사업소

[표11] 사고화차 GI-1정비 결과 발취

1.5.7.2 사고차량의 중정비(GI-2)

사고차량의 중정비(GI-2)는 2020년 11월 18일 대전철도차량정비단 제천화차부에서 공사의 「객화차유지보수기준」 제18조에 따라 주행장치 대차 각부 분해청소 후 액체침투탐상, 베어링의 분해 세척 및 상태 확인, 차륜삭정 등을 시행하였다.

사고차량의 차축 베어링은 2014년 1월 생산된 제품이며, 2020년 11월 12일 중정비 시 차륜삭정으로 베어링을 분리하게 되어 기준(8년)보다 빠른 시기에 분해 정비한 후 사고대차에 설치된 것으로 확인되었으며, 정비 후 사고 발생일까지 3년 2개월(1,151일) 동안 57,283km를 주행하였다.

위치	분해 정비일	제작사/ 제작일	위치	분해 정비일	제작사/ 제작일
L-1	2020.11.12.	TIMKEN/ 2014.2.	R-1 (사고축)	2020.11.12.	TIMKEN/ 2014.1.
L-2	2020.11.16.	SKF/ 2014.9.	R-2	2020.11.16.	SKF/ 2007.5.
L-3	2020.11.16.	SKF/ 2014.9.	R-3	2020.11.16.	SKF/ 2007.5.
L-4	2020.11.12.	TIMKEN/ 2014.2.	R-4	2020.11.12.	TIMKEN/ 2014.2.

[표12] 사고차량 베어링 분해정비 현황

사고 베어링 분해 정비 시 외륜 외경, 내경, 유간 등 각부 측정 결과는 [표13]과 같이 모두 기준을 만족하고 있었다.

외륜부 측정	131.84	131.86	외륜외경	196.723	196.977								
베어링 내경	131.75	131.79	외륜외경	207.962	208.087								
베어링 유간(조립)	0.508	0.660	낙침량검사	0.05이하									
베어링 유간(달린)	0.025	0.508	압입률수	45±4.5									
월/일	일련번호	차호	검사번호	제작사	베어링 고유번호	베어링번호	베어링 외관	폴리테이너	외륜외경 (mm)	외륜설경 (mm)	내경 (mm)	유간 (mm)	그리스 (g)
11/10	10	50148	65-R	T	08-02-545009	02011 0093	양호	양호	206.01	196.834	131.89	0.54	283
R4 L1 R1	11	50268	07-R	T	14-02-506009	0094	"	"	02	852	88	57	"
	12	"	07-L	T	14-02-501008	0095	"	"	03	841	88	59	"
	13	"	08-L	T	14-01-505016	0096	"	"	02	864	88	57	"
	14	"	08-R	T	14-02-501069	0097	"	"	02	855	88	58	"

[표13] 사고화차 베어링 분해 정비일지

[표14]와 같이 베어링 분해 정비 후 압입일지를 확인한 결과 특이사항은 없었고, 베어링 유간, 내경 등은 기준치를 만족하고 있었다.

월/일	속종	압입번호	속번호 (비품)	베어링 번호	베어링 유간	지널 외경	베어링 내경	압입 횟수	압입 유간	흡세 개이지	베어링 고유번호	제작사	비고 (N,R)
L4	1/6	11125	A9908 B1306	D2011 0135	0.59	131.86	131.78	45	0.3	0	112-948-491	T	R
R4		11110	89279	R4 0094	57	6	78	45	3	0	15-03-516729	T	
L1		11126	A9611 D0655	L1 0095	59	6	77	46	3	0	14-02-506779	T	
R1		11111	25115	R1 0096	57	6	77	46	3	0	14-01-505718	T	

[표14] 사고화차 베어링 분해 정비일지

사고차량에 사용한 그리스는 ‘Mobil SHC-100’제품 이었고, [표15]에서 보는 바와 같이 기준인 283g을 주입한 것으로 기록되어 있었다.

월/일	일련 번호	차호	검사 번호	제작사	베어링 고유번호	베어링번호	베어링 외관	볼리테 이너	외륜외경 (mm)	외륜실경 (mm)	내경 (mm)	유간 (mm)	그리스 (g)
2020	11/10	50148	65-R	T	08-02-545009	D2011 0093	양호	양호	206	196.834	131.779	0.54	283
R4	11	50268	77-R	T	14-02-506779	0094	"	"	02	196.834	131.779	0.54	"
L1	12	"	77-L	T	14-02-506779	0095	"	"	03	196.834	131.779	0.54	"
R1	13	"	78-L	T	14-01-505718	0096	"	"	02	196.834	131.779	0.54	"

월/일	속종	압입번호	속번호 (비품)	베어링 번호	베어링 유간	지널 외경	베어링 내경	압입 횟수	압입 유간	흡세 개이지	베어링 고유번호	제작사	비고 (N,R)
L4	1/6	11125	A9908 B1306	D2011 0135	0.59	131.86	131.78	45	0.3	0	112-948-491	T	R
R4		11110	89279	R4 0094	57	6	78	45	3	0	15-03-516729	T	
L1		11126	A9611 D0655	L1 0095	59	6	77	46	3	0	14-02-506779	T	
R1		11111	25115	R1 0096	57	6	77	46	3	0	14-01-505718	T	

[표15] 베어링 분해 정비 설치기록부 발취

사고차량 차축에 대한 초음파탐상검사는 2020년 11월 12일 시행하였으며, [표 16]과 같이 양호하였던 것으로 기록되어 있었다.

이전 동종 사고 시 공사의 차축 베어링 분해정비 실태를 조사한 결과, 분해 정비는 매뉴얼에 따라 시행하고, 차축의 정비 이력은 차축 메모리 버튼에 저장 관리하고 있었다.

차축 베어링의 분해 정비는 [그림17]에서 보듯이 세척 → 내륜청소 → 검사 → 외륜검사 → 소음검사 → 각부의 측정 → 표기·기록 → 조립 → 그리스 주입 → 오일씰 조립 후 차축에 압입하는 과정으로 시행하고 분해 정비 시 결함에 있는 것은 폐기하고 있었다.

			
① 베어링 인발	② 베어링 윤활유 제거	③ 베어링 세척기	④ 압축공기 추가 세척
			
⑤ 외륜 육안검사	⑥ 베어링 콘-스페이스	⑦ 내륜 검사대	⑧ 내륜 확대경 검사
			
⑨ 베어링 청소 및 확인	⑩ 외륜내경 청소 및 확인	⑪ 유간 및 내륜 측정기	⑫ 내륜경 측정
			
⑬ 외륜 측정기	⑭ 외륜 내경 측정	⑮ 조립 후 무게측정	(16) 그리스 주입기

[그림17] 차축 베어링 분해 정비 공정

1.5.8.2 차축 베어링의 결함 조사

정비 과정에서의 차축 베어링은 제조사에서 제공한 자료와 정비 매뉴얼에 따라 검사하며, 결함의 종류는 [표17]과 같이 구분하고 있었다.

결함 분류		비고
결함명	내용	
내륜불 불량	불 및 케이지 균열 손상 흔적	폐기
치수 불량	내륜 직경 (D축 131.75~131.79)	기준초과 시 폐기
외륜(홈) 파손 변형	외륜 외관 회전검사	폐기
충격 홈	내·외륜 구동면 마모 및 충격 흔적	폐기
부식	내륜의 폐기, 외륜의 구동면 연마	폐기
필링	윤활막 끊김에 의한 미세한 박리	폐기
박리	내·외륜 구동면 박리	폐기
내부 틈새	과도한 내부 틈새에 의한 국부 마모	폐기
일직선 불량	가공 불량 등에 의한 톨러 흔적	폐기
회전불량	회전검사 시 회전 불량	폐기

[표17] 차축 베어링 결함 분류 및 기준(철도공사 매뉴얼)

국의 조사자료⁷⁾에 따르면 베어링의 약 90%는 사용수명에 도달하며, 약 9.5%는 예방유지보수로 교체되고, 약 0.2~0.3%가량은 운행 도중 실제 파손을 일으키는 것으로 제시하고 있고, 베어링의 손상 원인은 정해진 수명 도달에 기인한 피로가 30%, 윤활 불량 28%, 수분 및 이물질 침투 17.5%, 윤활유량 부족이 10.5%, 설계적 오류 7%, 외부적 요인 및 기타 7%이고 베어링 재질 및 생산과정의 문제는 1% 미만이라고 하고 있다.

2023년까지 발생한 이전 사고조사 시에는 베어링의 재질 및 성분 등 베어링 품질과 관련한 원인은 확인되지 않았고, 화차 차축베어링 정비 현황을 조사한 결과, [표18]과 같이 2022년 기준 7,417개의 분해 정비가 시행되어 3,572개(48.2%)가 교환되었고, 교환된 것 중 결함으로 판명된 것은 1,317개로 정비 대상의 17.8%를 차지하고 있었다.

구분	정비수량 (A)	교환수량 (B)	결함수량 (C)	교환율(%) (B/A)	결함률(%) (C/A)
합계	7,417	3,572	1,317	48.2%	17.8%

[표18] 화차 베어링 정비 과정에서의 결함률 현황(2022년 기준)

7) Schaeffler(독일, 베어링 제작사) 베어링 손상원인 분석

화차 차축베어링의 신뢰성에 대한 의문이 들어 공사에서 최근 2년간 신상품 베어링 장착 후 분해 정비 주기 도래 전 결함발생 현황을 조사한 결과, [표19]와 같았다.

구분	정비 수량	결함수량	결함률	정비 주기
계	3,225	121	3.7%	8년 80만km
2022년	1,311	36	2.7%	
2023년	1,914	85	4.4%	

[표19] 화차 최근 2년간 신상품 베어링 결함 발생 현황

2022년 정비 수량 1,311개 중 신상품 장착 후 정비 주기 도래 전 결함으로 판정된 것이 36개로 2.7%를 차지했고, 2023년은 1,914개 중 85개로 4.4%를 차지해 결함률이 증가한 것으로 조사되었다.

1.5.8.3 차축 베어링 구매

공사의 화차 차축베어링은 [그림18]에서 보듯이 AAR⁸⁾에서 인증된 제품을 구매하여 사용하고 있는 것으로 확인되었고, 하자 보증기간은 일반적인 물품과 같이 3년으로 정하고 있었다.

Commodity Description												
	Unit	QTY				Delivery Terms	Delivery Days	Warranty (Years)	Warranty-Bond(%)	End-User	Manufacturer	Type of train
		2024	2025	Total	Max. Q'ty for 1							
AAR, NFL TYPE 2244-30600	EA	10,000	0	10,000	5,000	DTE	(DTE) 180 days after purchase order	3	5	Busan/Daejeon Rolling Stock Maintenance Depot	TIMKEN, SKF	Freight Car
AAR, NFL TYPE FTB00104	EA	1,750	0	1,750	900	DTE	(DTE) 180 days after purchase order	3	5	Busan/Daejeon Rolling Stock Maintenance Depot	TIMKEN, SKF	Freight Car

[그림18] 화차 차축베어링 구매 영문 규격 발췌

8) Association of American Railroads(미국철도협회), 철도 규격이 됨, 베어링의 시험 및 검사를 통해 인증함

1.5.9 사고열차의 화물 적재 상태

괴동역 화차계중검량부를 확인한 결과, 사고차량의 실중량은 53.34톤으로 최대하중 54.0톤 이하로 적재하였고, [그림19]와 같이 화물 적재 상태에서 편적 등 특이사항은 없었다.



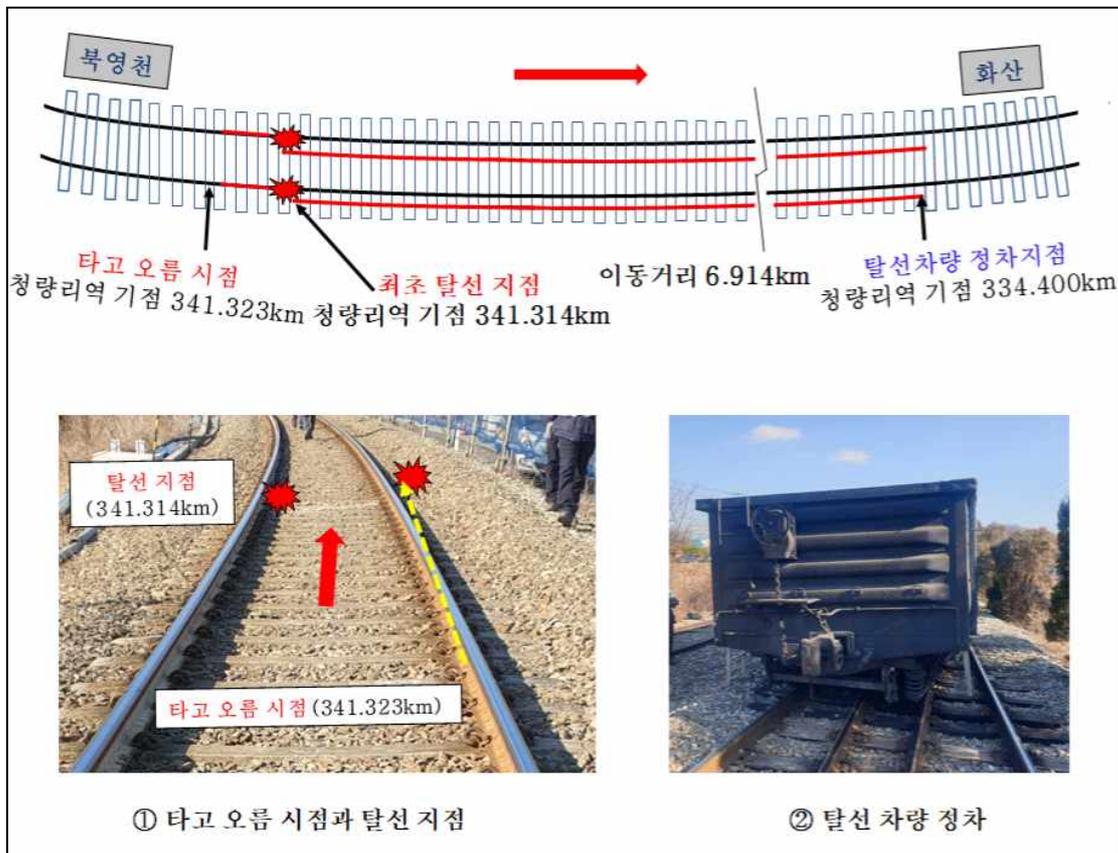
[그림19] 사고열차의 화물 적재 상태

1.6 선로정보

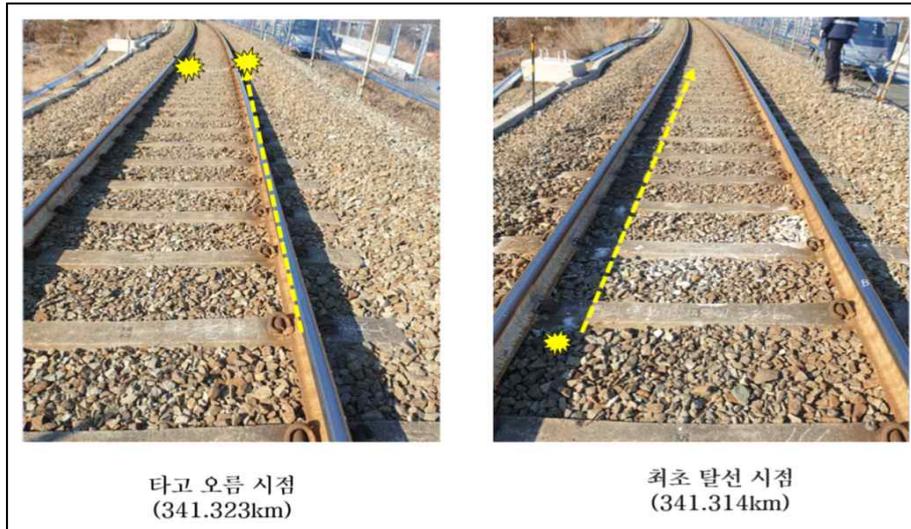
1.6.1 현장정보

중앙선은 서울의 청량리역과 경주의 모량신호장을 잇는 노선으로 총길이 331.3km이며, 청량리~도담역 사이는 준고속선, 도담~모량신호장까지는 일반선으로 관리하고 있고, 사고가 발생한 북영천~화산 사이는 단선으로 운영하고 있으나 2024년 말 복선 신설 노선으로 개통할 예정이다.

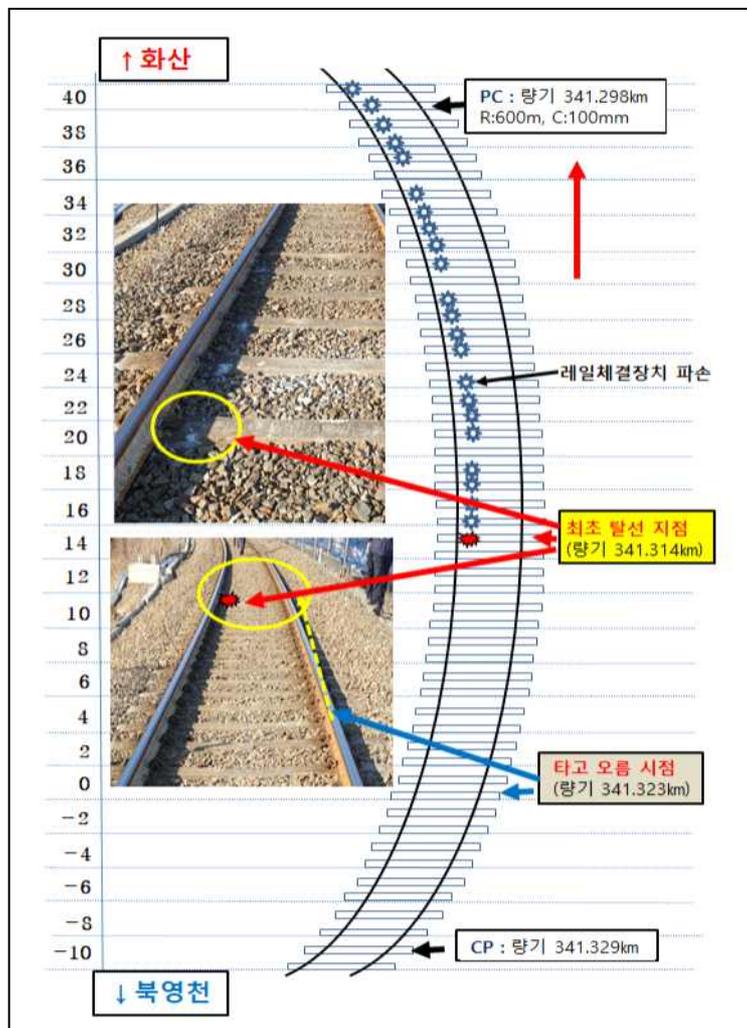
이번 사고가 발생한 장소는 북영천~화산역 사이의 곡선부로 량기 341.323km에서 최초 타고 오름이 시작되었고, 9m 지나 량기 341.314km 지점에서 열차 진행 방향 우측으로 탈선하여 6.914km 지나 량기 334.400km에서 정차하였다.



[그림20] 탈선사고 발생 현장 현황(1)

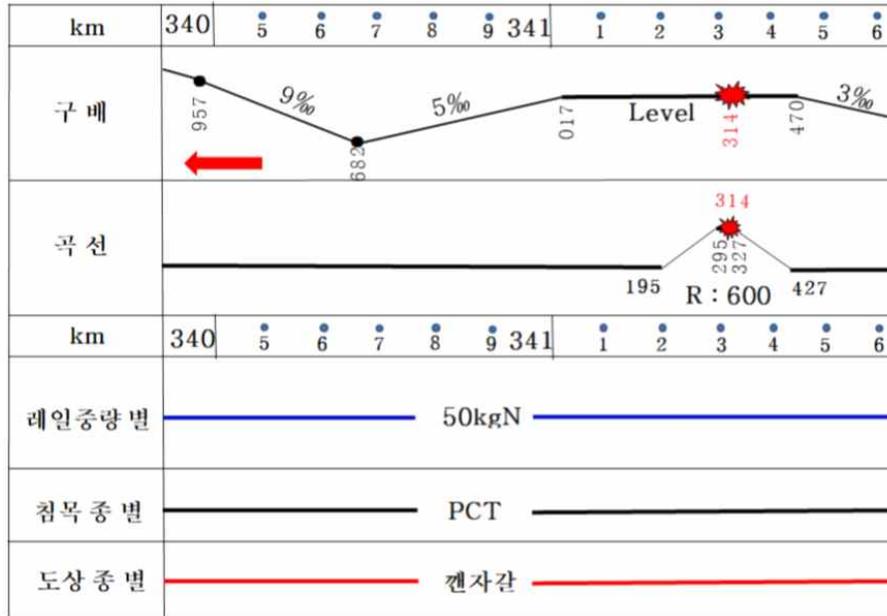


[그림21] 탈선사고 발생 현장 현황(2)



[그림22] 탈선사고 발생 현장 현황(3)

사고 구간의 종단선형은 Level이며, 평면선형은 R600의 원곡선 구간으로 탈선 개소 궤도구조는 50kgN 장대레일, 콘크리트침목으로 부설되어 있었다.



[그림22] 탈선현장 부근의 선로일람 약도

1.6.2 선로유지관리

1.6.2.1 선로 점검

선로 등 시설물 유지관리는 국가철도공단으로부터 위탁을 받은 코레일이 국가철도공단 「선로유지관리지침」(2023.5.10. 개정, 이하 ‘지침’이라 한다.)에 따라 정비와 점검·보수를 시행하고 있으며, 사고 구간의 선로는 일반철도관리기준을 적용받고 있고, 선로에 대한 점검은 [표20] 및 [표21]와 같다.

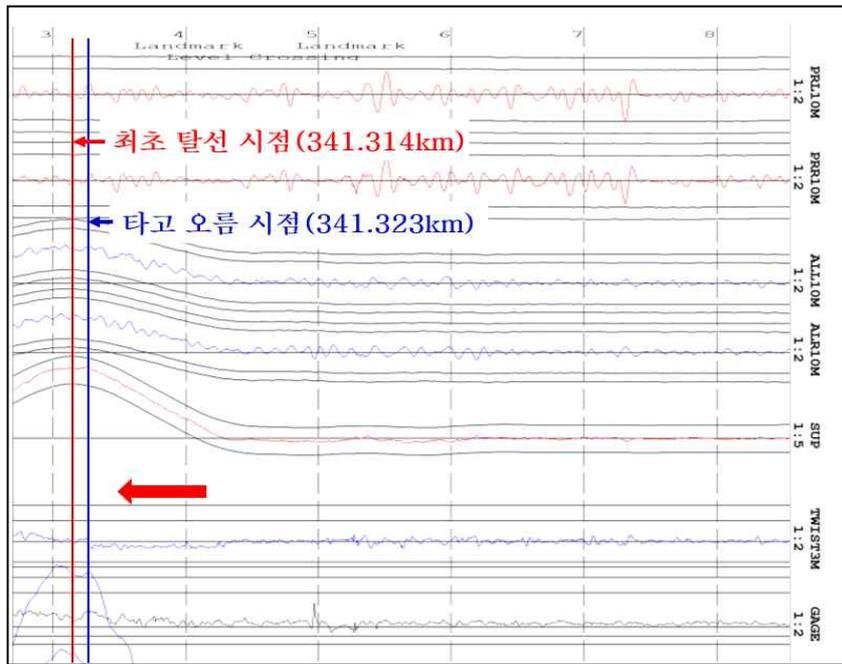
구분	항 목	기준 요약	비 고
궤도보수	궤도검측차점검	일반철도: 분기 1회	제170조
	선로점검차점검	일반철도: 월 1회	제172조
순회	일상순회점검	도보: 주 1회	제200조

[표20] 선로 정비기준 주요 항목(발취)

관련 조항	점검종류	주기	점검시행결과	비고
제170조(궤도 검측차 점검)	궤도틀림	분기 1회	2023년도 4회 (1.13, 4.1, 8.18, 12.22)	탈선개소 부근 특이사항 없음
제172조(선로 점검차 점검)	레일표면상태, 침목, 체결구, 선로순회	월 1회	2023년도 12회 (1.13, 2.20, 3.22, 4.27, 5.30, 6.26, 7.7, 8.28, 9.23, 10.16, 11.24, 12.19)	탈선개소 부근 특이사항 없음
제199조(일상 순회점검)	도보순회	주 1회	2023.12.1.~24.1.7 총 6회 (12.5, 12.11, 12.18, 12.26, 1.3, 1.4)	특이사항 없음

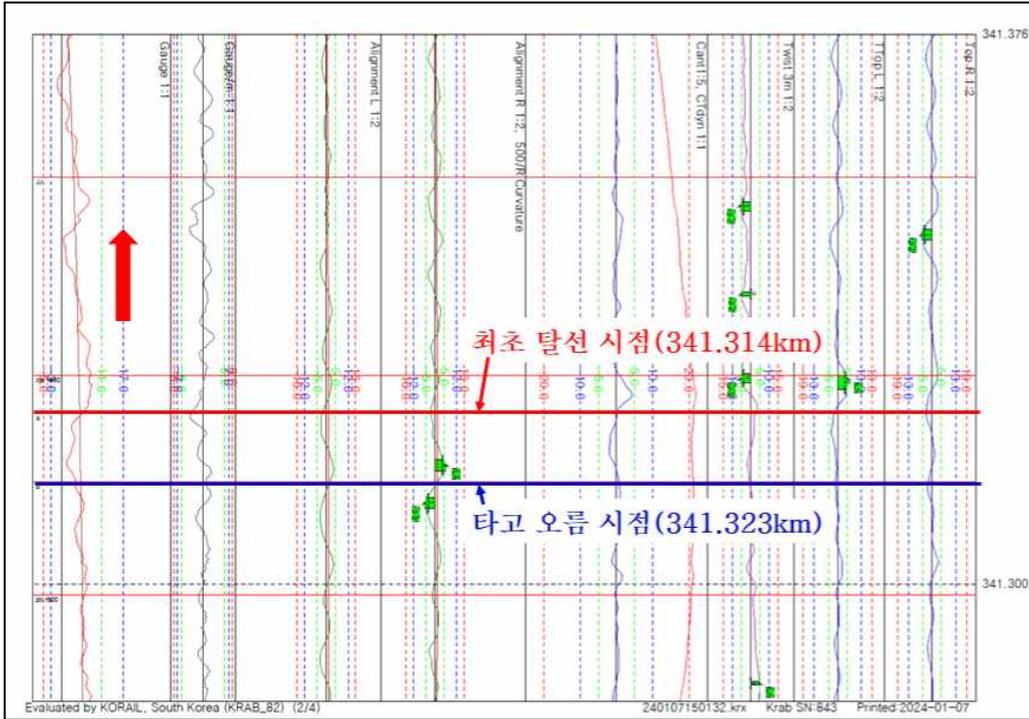
[표21] 선로점검 종류 및 점검 결과

사고 구간에 대한 궤도검측차 점검 4회, 선로점검차 점검 12회, 12월 이후 도보 순회 6회 점검 결과, 특이사항은 없었고 지침에서 정한 점검 주기를 준수하고 있었다.



[그림23] 사고 개소에 대한 궤도검측 결과(사고 전, 2023.12.22.)

사고 후 사고 개소에 대해 선형검측기 측정 결과에서도 [그림24]와 같이 모든 항목(궤간, 방향, 수평, 뒤틀림, 고저)이 관리기준 이내였다.



[그림24] 사고 개소에 대한 선형검측 결과(사고 후, 2024.1.7)

사고 직후 타고 오른 지점(량기 341.323km) 위치의 전·후를 20cm 간격으로 [그림25]와 같이 레일 형상을 측정하였다.

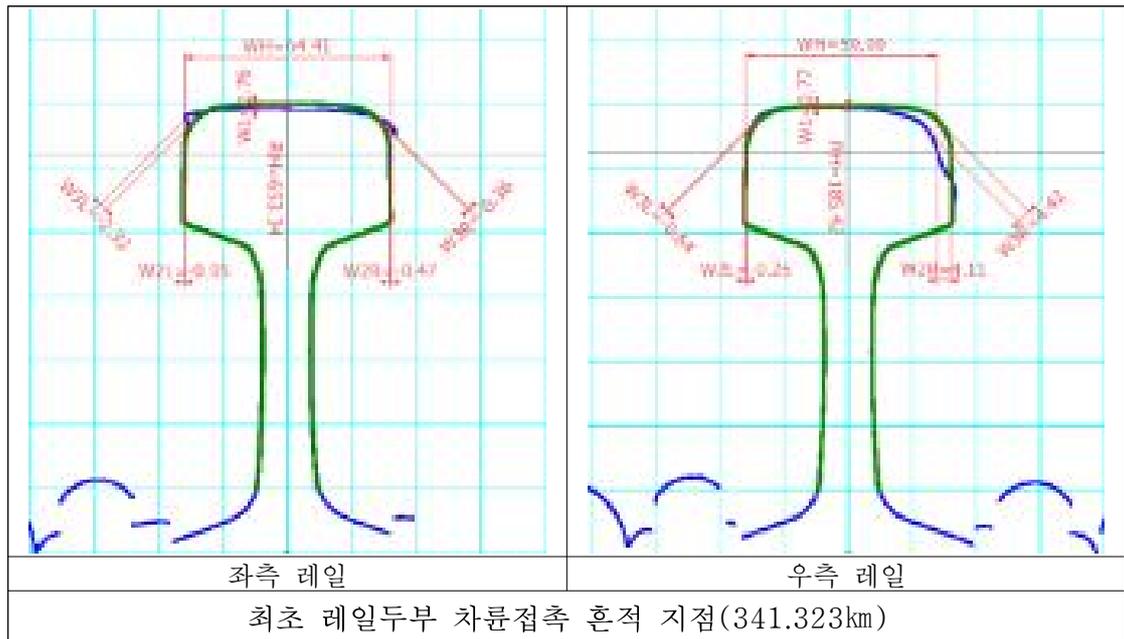


[그림25] 레일 형상 측정 위치

측정 결과는 [표22] 및 [그림26]과 같으며 편마모의 최대치는 5.59mm, 직마모의 최대치는 1.68mm로 정비기준(직마모 13mm, 편마모 15mm) 이내였다.

위치	측점 (cm)		측정결과				레일 종별	비고
			좌측레일(mm)		우측레일(mm)			
정비기준	-		13mm (직마모)	15mm (편마모)	13mm (직마모)	15mm (편마모)		
최초 레일두부 차륜접촉 흔적 지점 (341.323km) 기준	①	-100	1.45	0.68	0.79	4.13	50kgN	
	②	-80	1.56	0.61	0.78	3.97		
	③	-60	1.76	0.27	0.74	4.00		
	④	-40	1.65	0.27	0.87	4.22		
	⑤	-20	1.62	0.35	0.85	4.33		
	⑥	0	1.76	0.36	0.77	4.42		타고 오름 시점
	⑦	20	1.70	0.38	0.87	4.78		
	⑧	40	1.62	0.38	0.74	5.01		
	⑨	60	1.61	0.35	0.82	5.32		
	⑩	80	1.68	0.21	0.71	5.40		
	⑪	100	1.56	0.33	0.77	5.59		

[표22] 레일 마모 측정 결과



[그림26] 사고 발생 개소 부근의 레일 형상 측정 결과(2024년 1월 8일)

1.6.2.2 선로유지보수

사고가 발생한 지점은 R600의 원곡선으로 2023년도에 사고발생일 전까지 유지보수 작업이 [표24]과 같이 시행되었으며, 사고에 영향을 미칠만한 특이 사항은 없었다.

위치		작업 내용	작업일
역간	위치		
아화~북영천	341.2~342.4	면 맞춤	2023-01-19
아화~북영천	341.2~342.354	면 맞춤	2023-02-14
아화~북영천	340.4~341.400	도상정리	2023-12-08

[표24] 유지보수 실적(2023.1 이후)

1.7 전기 및 신호정보

1.7.1 신호정보

사고 구간의 신호설비는 [표25]에 보듯이 궤도회로장치, 선로전환기, 연동장치, 열차제어장치 등으로 구성되어 있었다.

구분	궤도회로장치	선로전환기	연동장치	열차 제어장치
설비방식	직류 궤도회로	NS-AM 선로전환기	전자식	열차자동정지장치(ATS)
설치연도	1996~2009년	2000~2007년	2010년	2001~2017년

[표25] 사고 구간 신호설비 현황

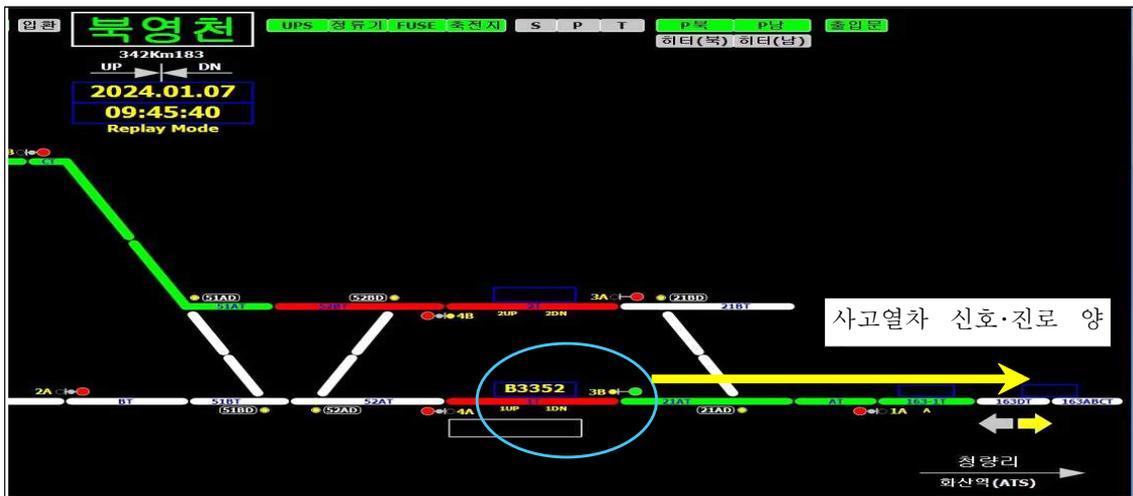
북영천역과 화산역 전자연동장치 화면기록은 전자연동장치 로그(log) 시간을 기준으로 발생 시간을 보고서에 보정하여 기록하였다.

사고 당일 북영천과 화산역 전자연동장치 09:40:00~10:10:36까지 기록에는 [그림27] ①~⑦에서 보듯이 사고열차는 북영천역을 출발하여 사고로 화산역에 정차할 때까지 관계된 신호와 진로는 양호한 상태였다.

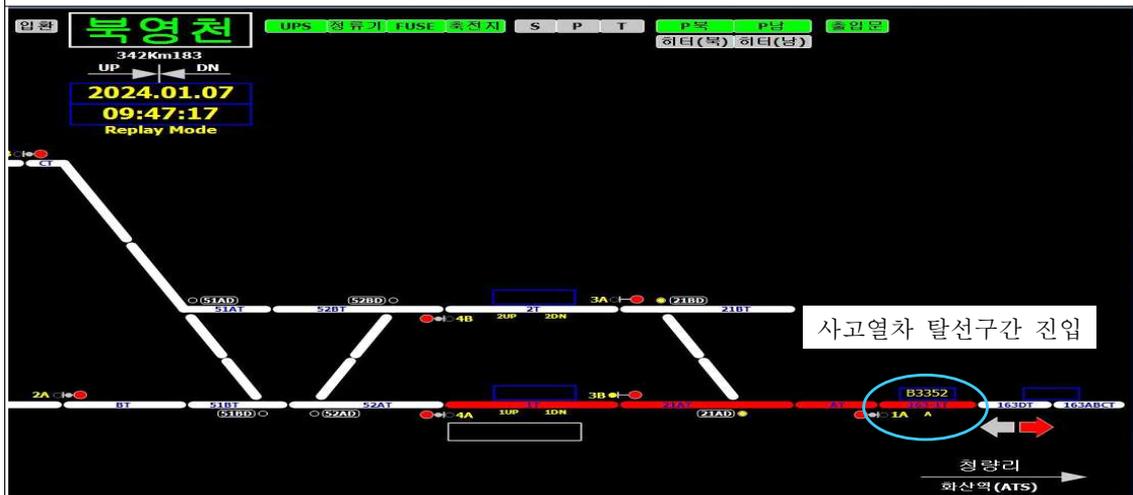
사고열차가 북영천-화산역 사이를 운행할 때 화산역 통과신호를 취소(09:57:38)하고, 상장내신호기(2A)를 정차(주의현시) 취급(09:58:19)하였다.

사고열차는 화산역 51A호 선로전환기 운행 중 10:02:58에 탈선화차에 의해 선로전환기 간류가 훼손되면서 불일치 표시를 하였다. ([그림27 ⑥ 참조])

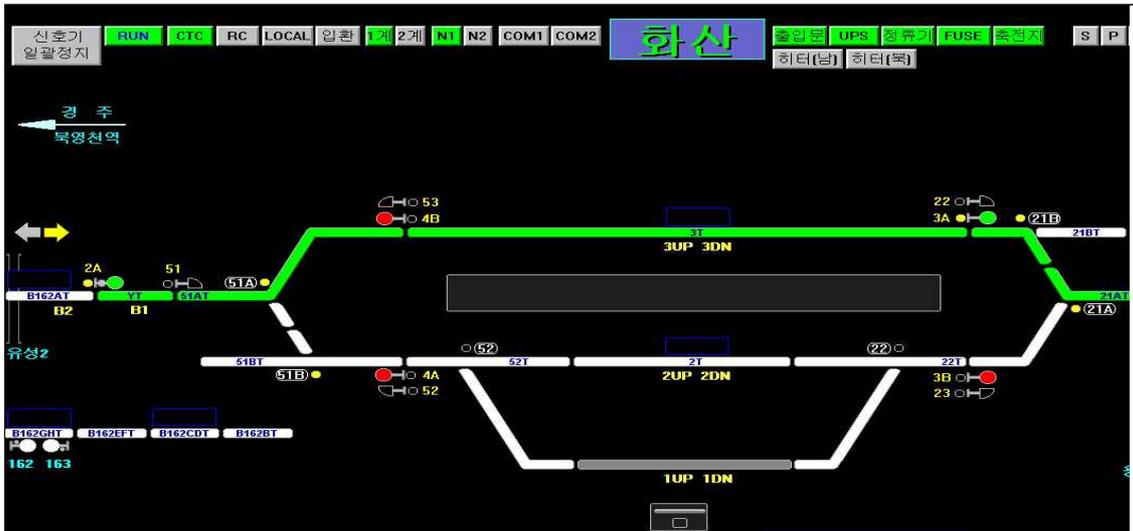
사고열차는 B163-1T 궤도회로를 점유(09:47:10)한 후 평균운행속도 약 50km/h로 40m를 운행한 것으로 계산하면, 점유 약 3초 후인 09:47:13경 탈선된 것으로 계산되었다.



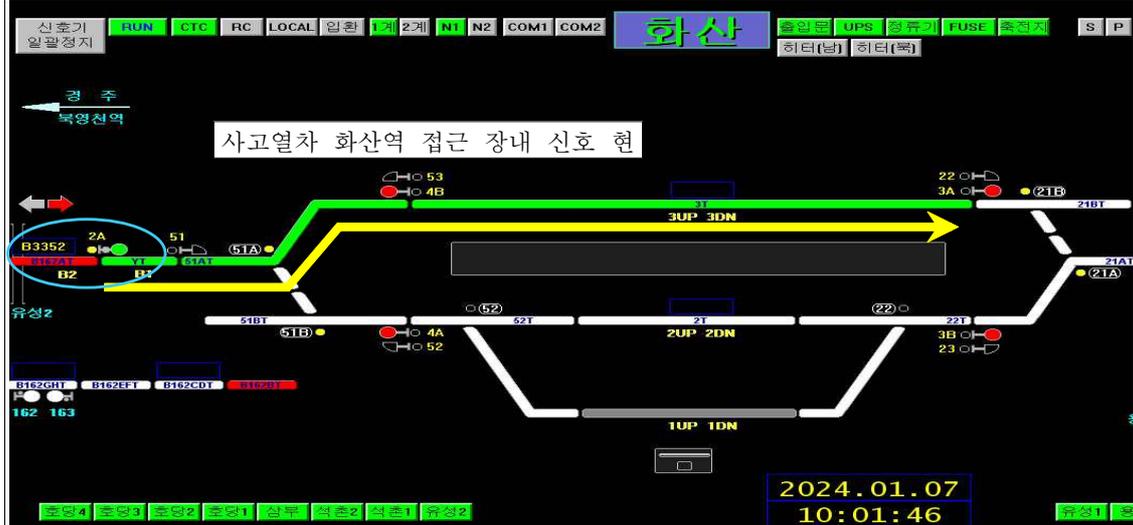
① 09:45:33 사고열차 북영천역 정차 중(1T 점유) 상출발신호기(3B) 진행신호 현시



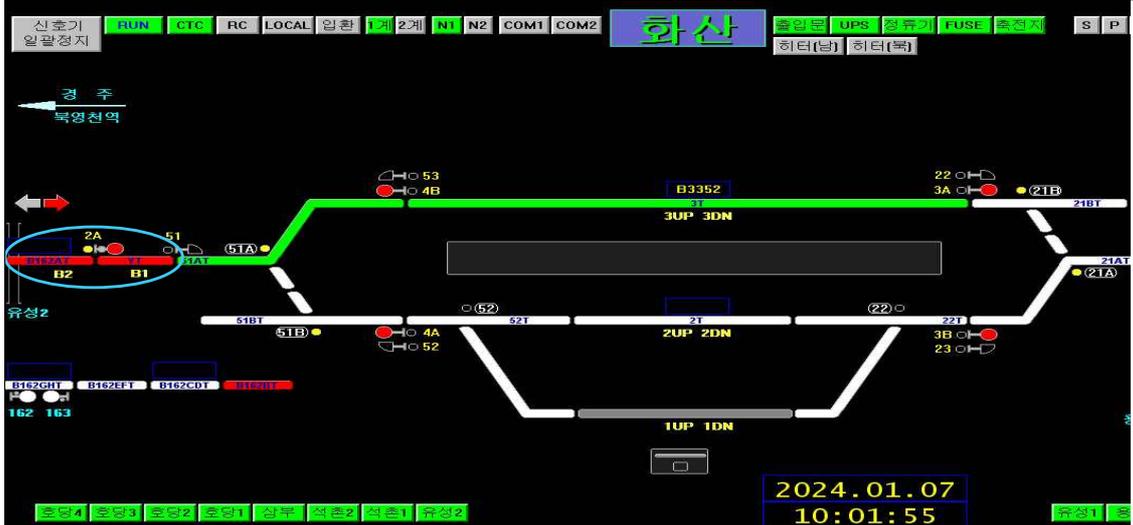
② 09:47:10 사고열차 북영천 진출(B163-1T 점유) 09:47:13 사고열차 탈선 추정



③ 09:46:45 사고열차 화산역 통과 신호현시(2A-3번선, 3A-A2)



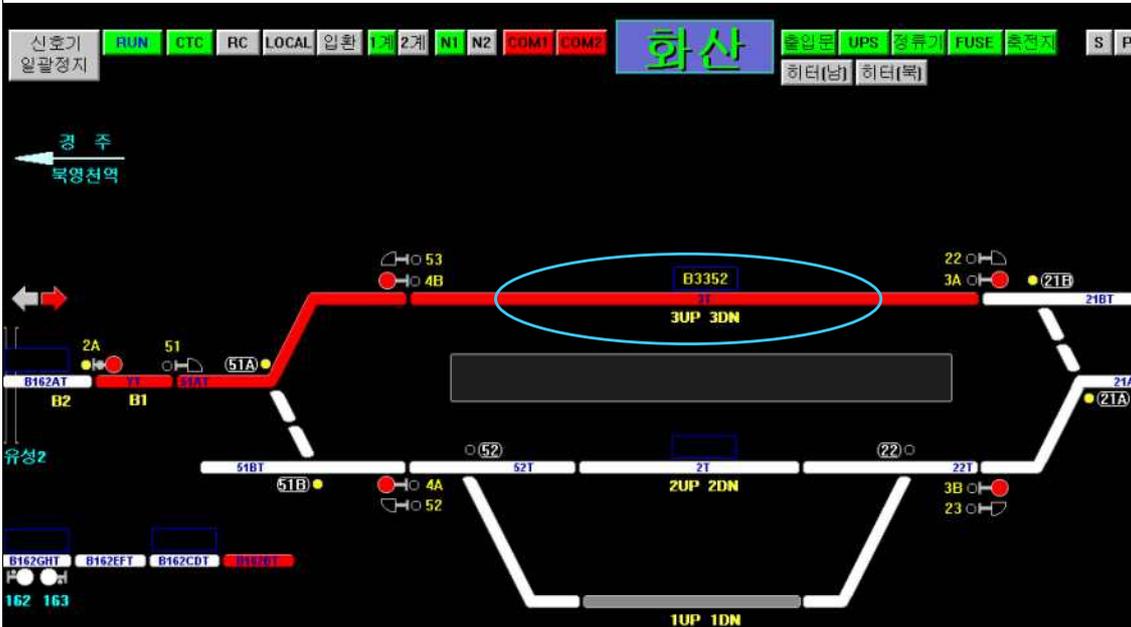
④ 10:01:46 사고열차 상장내 접근(B162AT 점유) 상장내 신호·진로 양호



⑤ 10:01:55 사고열차 상장내신호기(2A-3번선) 내방 진입, YT 궤도 점유



⑥ 10:02:58 사고열차 51호 진입 시 탈선화차에 의한 선로전환기 불일치



⑦ 10:03:14 사고열차 분리 후 본선 진입(기관차+화차2량)

시간별	분류	번호	내용	비고
01.07. 09:45:24.00	취급	400	[3B-A] 신호 취급 [제어측:LOCAL]	북영천
01.07. 09:45:33.00	연동	406	[3B] 진행 신호현시	북영천
01.07. 09:46:22.33	연동	200	[21AT] 점유	북영천
01.07. 09:46:25.14	취급	211	[3A-A2] 신호 취급 / CTC	화산
01.07. 09:46:27.31	연동	214	[3A] 진행 신호현시	화산
01.07. 09:46:30.54	취급	211	[2A-3UP] 신호 취급 / CTC	화산
01.07. 09:46:36.31	연동	214	[2A] 진행 신호현시	화산
01.07. 09:46:54.33	연동	200	[AT] 점유	북영천
01.07. 09:47:10.66	연동	200	[163-1T] 점유	북영천
01.07. 09:48:18.33	연동	200	[163DT] 점유	북영천
01.07. 09:48:45.00	연동	200	[163ABCT] 점유	북영천
01.07. 09:51:04.00	연동	202	[163DT] 복구	북영천

01.07. 09:55:16.00	연동	202	[163ABCT] 복구	북영천
01.07. 09:54:19.11	연동	301	[B162GHT] 점유	화산
01.07. 09:57:01.31	연동	301	[B162EFT] 점유	화산
01.07. 09:57:38.54	취급	211	[3A-A2] 신호 취소취급 / CTC	화산
01.07. 09:57:38.91	연동	218	[3A] 신호 정지	화산
01.07. 09:57:39.31	연동	218	[2A] 신호 정지	화산
01.07. 09:58:13.54	취급	213	[2A-3UP] 진로 재취급 / CTC	화산
01.07. 09:58:19.91	연동	215	[2A] 주의신호 현시	화산
01.07. 09:58:36.31	연동	301	[B162CDT] 점유	화산
01.07. 10:00:10.91	연동	301	[B162BT] 점유	화산
01.07. 10:01:46.91	연동	301	[B162AT] 점유	화산
01.07. 10:01:55.31	연동	301	[YT] 점유	화산
01.07. 10:01:55.71	연동	218	[2A] 신호 정지	화산
01.07. 10:02:24.91	연동	301	[51AT] 점유	화산
01.07. 10:02:58.11	연동	405	[51]호 선로전환기 정위 불일치(KR-N(0)(KR-R(0)	화산
01.07. 10:03:14.11	연동	301	[3T] 점유	화산

[그림27] 전자연동장치 유지보수부 동작 화면 및 취급, 동작 정보

1.7.2 전차선 정보

사고 구간은 비전철 구간으로 2024년까지 복선전철화 계획이 수립되어 공사를 진행하고 있었다.

1.8 기상정보

기상청 자료에 의하면 2024년 1월 7일(일) 10:00경 경북 영천시의 기온은 -4℃, 풍속은 4㎧, 습도는 20%였다.

2. 분석

2.1 관계자 업무수행 분석

2.1.1 본무기관사

본무기관사가 북영천~화산역 사이를 운행 중 열차 후부에서 연기가 발생하는 것을 확인하고 열차에 이상이 있다고 판단하여 비상 정차한 것은 [표 26]의 한국철도공사 「운전취급규정」 제31조(열차의 정차) ①항 3호에 따른 조치로 분석되었다.

<p>제31조(열차의 정차) ① 열차는 정거장 밖에서 정차할 수 없다. 다만, 다음 각호의 경우는 예외로 한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 취약구간의 운전취급 등 특히 지정한 경우 2. 정지신호의 현시 있는 경우 3. 사고발생 또는 사고발생의 우려 있는 경우 4. 선로장애 또는 선로장애 우려로 이의 긴급처리를 위한 시설 관계 직원이 현장에 출장할 경우 5. 열차운전과 직접적 관계가 있는 철도차량 및 시설물의 긴급수리를 위한 보수자가 현장에 타고 내릴 경우 6. 위급한 부상자의 긴급수송 및 치료를 위해 의료요원이 현장에 출장할 경우 7. 공사 직원 및 그 가족의 신병으로 이를 긴급 수송하거나 치료하기 위하여 의료요원이 타고 내릴 경우 8. 그 밖에 부득이한 사유가 있는 경우 <p>② 열차는 정거장의 차량접촉한계표지 안쪽에 정차하여야 한다. 다만, 관제사의 특별한 지시가 있을 때는 예외로 한다.</p> <p>③ 제1항제4호부터 제8호까지는 관제사의 승인에 따라 열차를 임시로 정차시킬 수 있다. 다만, 통신 불능 등의 사유로 승인을 받을 수 없을 때는 나중에 이를 보고할 수 있다.</p> <p>④ 제3항에 따라 열차를 임시로 정차시킬 경우 관제사는 임시 정차하는 정거장 역장과 임시정차하기 전의 역장에게 알리고, 연락받은 역장은 그 요지를 기관사에게 알려야 한다. <개정 2020.06.26.></p> <p>제268조(사고발생 시 조치) ① 철도사고가 발생할 우려가 있거나 사고가 발생한 경우에는 지체 없이 관계 열차 또는 차량을 정차시켜야 한다. 다만, 계속 운전하는 것이 안전하다고 판단될 경우에는 정차하지 않을 수 있다.</p> <p>② 사고가 발생한 경우에는 그 상황을 정확히 판단하여 차량의 안전조치, 구름방지, 열차방호, 승객의 유도, 인명의 보호, 철도재산피해 최소화, 구원여부, 병발사고의 방지 등 가장 안전하다고 인정되는 방법으로 신속하게 조치하여야 한다.</p> <p>③ 사고 관계자는 즉시 그 상황을 관제사 또는 인접 역장에게 급보하여야 하며, 보고 받은 관제사 또는 역장은 사고 발생내용을 관계부서에 통보하는 등 신속한 사고 복구가 이루어질 수 있도록 조치하여야 한다.</p>
--

[표26] 열차의 정차 및 사고발생 시 조치 (한국철도공사 운전취급규정)

그러나 연기 발생으로 비상 정차한 열차의 차량 상태를 확인하지 않고 계속 운전한 것은 열차운전취급규정 제268조 준수가 미흡하였던 것으로 판단

되었고, [표27]과 같이 상황실 교육, 게시교육 등을 통해 이례 사항 발생으로 정차 시 최후부 차량까지 확인하도록 교육은 시행한 것으로 확인되었다.

일시	교육 방법	주요 교육 사항	비고
`23.10.18. ~ `23.12.11.	상황실 교육 (원포인트 교육)	이례사항 발생시 정차 후 반드시 맨후부 차량까지 확인(임의 이동금지)	
`23.12.12. ~사고발생일	"	충북선 증평~도안역 간 3128열차 궤도 이탈 발생(후부 확인 및 통보철저)	
`23.10.18. ~사고발생일	상황실 교육 (소속장당부사항)	운행 중 이상 사항 발생시 반드시 맨후부 차량까지 현장 확인	
`23.10.23. ~ `23.11.30.	상황실 교육 (사고사례)	연기, 불꽃 충격, 비상제동, 차량 이상 등 발견시 반드시 정차 맨후부 차량까지 이상 유무 확인 후 운행 재개. 탈선감지장치 동작으로 비상제동 체결 시 정차 후 후부 차량 전체확인 철저.	
`23.11.6. ~사고발생일	상황실 교육	열차 최후부까지 탈선감지장치 동작 여부 (1량당 2개소) 확인 및 주행부 이상 유무 (탈선, 측상 발열 등) 확인	
`23.10.19. ~ `23.11.2.	상황실 일지교육	운행 중 열차 후부 불꽃, 연기 등 차량 이상 발견 시 즉시 정차 또는 최근역에 통보. 탈선감지장치 설치 차량 비상정차 시 후부 탈선 여부 반드시 확인	
`23.10.11. ~ `23.12.18.	"	- 긴급 교육 사항 열차 운행 중 후부 이상 감지 시 반드시 정차 후 확인하고 운행 재개할 것	
`23.10. ~ `23.12.	정기 안전보건교육 (월3회) 10분간	열차 운행 차량 이상 발견 시 정차 후 맨 후부 차량까지 이상 유무 확인 후 운행 재개	
`23.12.1. ~ `23.12.31.	분임반 교육	열차운행 시 후부 감시 철저(정차하여 확인 시는 맨후부 차량까지 확인)	
`23.11.25. ~ `23.12.1.	운전 분야 이례사항 조치 및 안전관리 특별교육 (게시교육)	- 사고사례 교육 `23.10.18 중앙선 아화~영천역간 화물열차 탈선 시 탈선감지장치가 동작하였으나 기관사의 현장 확인 미흡으로 2차 피해 발생. 열차 후부 확인 시 최후부까지 확인	게시교육 4회 실시

[표27] 열차 후부 확인 관련 교육 실적 (한국철도공사 제출자료)

다만, 열차가 사고 발생 등으로 철도 건널목을 지장하여 정차한 경우, 운전 취급 등에 관한 규정이나 매뉴얼 등이 없어 이에 대한 보완이 필요한 것으로 분석되었다.

본무기관사가 사고열차를 비상 정차 후 재출발하여 운행할 때 열차 후부에서 연기가 심하게 발생하여, 열차 정차 후 차량 상태를 확인하고자 로컬 관제원에게 정거장 밖 정차를 요청했으나 승인을 받지 못하여 화산역까지

운행한 것으로 확인되었다.

그러나 열차 후부에서 연기가 많이 나는 것을 인지했다면 사고가 우려되는 상황이므로 관제원에게 승인을 요청하기에 앞서 열차를 정차하여야 했던 것으로 분석되었다.

2.1.2 보조기관사

한국철도공사 「운전취급규정」 제3조(정의) 및 「동력차승무원 지도운용내규」 제3조(정의)에는, 기관사 2인이 승무할 때 직접 운전 업무를 수행하는 기관사를 본무기관사라고 하며, 보조기관사는 부기관사의 역할을 수행하도록 하고 있었다.

보조기관사는 북영천~화산역 사이에서 기관사가 후부 화차의 연기 발생을 발견하여 비상 정차하였을 때, [표28]에 보는 바와 같이 본무기관사를 보좌하여 후부 차량 상태를 확인하거나, 확인하도록 경고·유도해야 했으나 이를 이행하지 않은 것으로 조사되었다.

이에 따라 한국철도공사 「동력차승무원 지도운용내규」 제3조에 따라 기관사 2인 승무 시 보조기관사로 근무할 때는 한국철도공사 「일반철도 운전취급세칙」 제5조(부기관사의 의무)에 따른 부기관사의 의무를 이행해야 할 것으로 분석되었다.

제5조(부기관사의 의무) ① 부기관사는 열차운행 중 진로확인 및 신호·전호·열차의 뒤 확인, 열차 방호의 의무를 수행하는 등 기관사를 보좌하고, 제반 규정에 따른 열차 및 철도차량의 운전업무 보조와 운전취급 지시에 따라야 한다.
 ② 부기관사는 기관사가 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 취급을 하는 경우에는 즉시 경고하고 긴급히 안전조치를 하도록 유도하여야 한다.

1. 긴급사태 조치 소홀
2. 일단정지·규정속도 위반
3. 줄음상태, 위규운전
4. 그 밖에 중요한 취급 부주의

[표28] 한국철도공사 일반철도 운전취급세칙 제5조

보조기관사가 화산역 진입 전 장내신호기 외방에서 교대하여 본무기관사로서 사고열차를 운전하여 화산역으로 진입할 때 3번째 화차가 탈선하여 2번째 화차와 3번째 화차 사이가 분리되면서 제동관 공기호스가 탈락하여 자동으로 비상제동이 체결되었던 것으로 분석되었다.

2.1.3 로컬관제원

관제원이 사고열차 기관사로부터 화산역 정차를 요청받고 관제사에게 보고한 후 화산역 정차를 승인한 것은 위규 사항이 없었다.

그러나 기사가 열차 후부에 연기가 발생하여 화산역 진입 전 선로에 정차하여 확인하겠다고 요청했을 때 철도 건널목 지장으로 인한 민원을 우려하여 화산역까지 들어오도록 한 것으로 분석되었다.

2.2 차량분석

2.2.1 사고차량 분석

사고차량은 전부 대차 R1 차축 베어링의 발열로 해당 부분의 차축 저널부가 절손되어 떨어져 나감에 따라 윤축이 유동되고 대차가 틀어지면서 1위축은 선로 우측, 2위축은 선로 좌측으로 탈선한 것으로 조사되었다.

1위축 상대측 축상은 탈선 후 운행 충격에 의해 엔드캡 고정볼트가 이완되고 그리스가 누유되는 상태였으며, 사고축의 축상하우징은 축 저널부 절손 후 운행 과정의 충격에 의해 스프링과 함께 선로변(량기 343.600km 지점)에 탈락하였고, 절손된 축저널부는 엔드캡이 붙어 있는 상태로 13km 후방, 현저터널 내(량기 356.920km)에서 발견되었다.

사고열차는 디젤기관차와 시멘트 재료인 광재를 실은 무개화차 20량으로 구성되어 있었고, 51065호는 앞에서부터 3번째 연결되어 있었다.

사고차량의 대차는 용접구조형이고 축종은 RCT-D축, 대차 중량은 4.6톤이며, 차륜 등 주행장치 각부를 측정된 결과, 기준 이내였고 차축발열의 원인이 될 수 있는 답면 찰상 및 박리는 확인되지 않았다.

사고 축은 소실과 손상으로 그리스량을 측정할 수 없었고, 사고축과 같이 분해 정비 된 2위 축의 그리스량을 측정된 결과, 기준($360 \pm 30g$)⁹⁾ 이내인 것으로 확인되어 윤활 부족은 아닌 것으로 판단되었다.

2.2.2 사고차량 정비현황 분석

공사의 차축 관련 정비는 「객화차유지보수기준」에서 정하고 있는 기본 정비(ES) 시 ‘축상발열, 윤활유 누유 여부 상태’, 경정비(LI-6)에서 ‘축상

9) 2위축은 SKF베어링, 사고축은 Timken 베어링

엔드캡 및 이완방지 상태'를 확인토록 하고 있으며, 중정비인 GI-2에서 베어링의 누유 및 이상음 발생 여부를 확인하고, GI-2 정비 2회차(8년)에 베어링을 분해하여 검사·정비하고 있었다.

사고차량의 차축베어링은 사고 3일 전 ES 정비, 7개월 전 시행한 GI-1 정비에서 양호하였던 것으로 기록되어 있었고, 2020년 11월 분해 정비에서 해당 차축의 차륜삭정으로 분리하게 됨에 따라 정비 주기(8년) 도래 전인 5년 4개월¹⁰⁾ 만에 분해 정비가 시행된 것으로 확인되었다.

베어링 분해 정비 시 각 부 측정 결과 등은 양호한 상태였고, 그리스량은 283g 정량이 주입된 것으로 기록되어 있었다.

사고 베어링은 장착 후 8.5년째 사용되고 있었던 것으로 장기 사용에 따른 노후화로 보기 어렵고, 분해 정비 후 3년 2개월이 경과하여 정비 과정에서의 불순물, 수분 등의 유입에 따른 문제점이 있었다고 보기도 어려웠다.

2.2.3 유사 사고사례 분석

차축 발열의 원인 규명과 관련하여 2012~2023년까지 발생 된 8건의 화차 차축 발열 건에 대해 분석한 결과, 차량 종류별로는 무개화차, 유개화차, 유조차가 각 1건, 컨테이너차가 2건, 벌크차가 3건 발생 되었다.

조사한 8건 모두 화물을 실은 영차 상태였으며, 분해 정비 후 빠른 것은 109일, 최장 2,685일 운행 후 발생하였고, 주행거리는 최단 15,782km, 최장 350,018km 운행 후 발생 된 것으로 분석되어 분해 정비 주기 후 사고발생일까지의 사용기간에 대한 관련성은 확인할 수 없었다.

이번 사고 이전 2023년 3건이 연속 발생 되었고, 5월 영천삼각선 사고의 경우 분해 정비 3개월 후 발생 되었고, 2023년 10월 중앙선 아화-영천 사고

10) 2014.1월 제작, 2015.7월 최초 차량 장착

의 경우 동일 차축 상대측 베어링 정밀 분석에서 베어링 표면에 결함이 진행되는 것이 확인되었고, 신품 베어링을 장착 후 분해 정비가 한 번도 시행되지 않은 상태에서 7년 1개월 283,744km 운행 후 발생 되었다.

베어링 제작사별로는 SKF사 4건, Timken사가 3건, KOYO사 1건으로 사용량을 고려할 때 제작사별 개연성은 없는 것으로 판단되었다.

사고원인별로 보면 엔드캡 볼트 이완 누유가 3건, 베어링 피로균열 1건, 컨테이너 차량에 화물을 싣는 과정에서 베어링이 충격을 받아 파손된 것이 2건, 베어링 표면결함이 2건이었다.

발생일	장소/열번/차종	정비경과일	주행거리(km)	제작사	적재물	사고원인
2012. 5.20.	중앙선 운산-무릉 제3386 열차 무개화차	318일	20,460	SKF	광재	엔드캡 볼트 이완 누유
2013. 2. 9.	호남선 익산-황등 제3118 열차 유개화차	109일	27,189	TIMKEN	냉연코일	엔드캡 볼트 이완 누유
2015. 6.21.	충북선 도안-증평 제3188 열차 벌크차	241일	34,577	SKF	시멘트	베어링 피로균열
2019. 2.19.	경전선 완사-진주 제3081 열차 컨테이너차	658일	127,448	SKF	컨테이너	화물을 싣는 과정에 베어링 충격
2019. 3.13.	영동선 봉성-봉화 제3386 열차, 컨테이너차	684일	122,255	KOYO	컨테이너	화물을 싣는 과정에 베어링 충격
2023. 5.10.	영천삼각선 제3273 열차 벌크차	114일	15,782	TIMKEN	시멘트	윤활 부족, 과적 등 복합
2023. 10.18.	중앙선 아화-영천 제3956 열차 유조차	870일	350,018	TIMKEN	유조차	베어링 표면결함, 엔드캡 볼트 이완
2023. 12.10.	충북선 도안-증평 제3128 열차 벌크차	2,685일	283,744	SKF	시멘트	베어링 표면결함, 수분 유입

[표29] 화차 차축 발열 탈선사고 원인별 현황(2012~2023년)

2.2.4 차축 베어링 분석

2.2.4.1 차축 베어링 정비 실태 분석

철도차량 차축베어링의 경우 고속차량은 140만km 또는 160만km¹¹⁾마다 분해 정비를 시행하며 2023년 기준 결함률이 1%¹²⁾ 미만이고, 전동차의 경우 4년 주기로 분해 정비를 시행하고 있으며, 최근 4년간 결함률이 2%¹³⁾ 미만인 것에 비해 화차는 다른 차종과 운용 조건 및 정비 주기가 다르긴 하나 2022년 기준 17.8%¹⁴⁾에 달해 결함률이 매우 높은 것으로 확인되었다.

참고로, 국외 조사자료¹⁵⁾에서 베어링은 약 90%는 기계의 사용수명에 도달하며, 약 9.5%는 예방유지보수로 교체되고, 약 0.2~0.3%는 운행 도중 실제 파손을 일으키는 것으로 제시하고 있으며, 베어링의 손상 원인은 사용 경과에 따른 피로가 30%, 윤활 불량 28%, 수분 및 이물질 침투 17.5%, 윤활유량 부족이 10.5%, 설계적 오류 7%, 외부적 요인 및 기타가 7%라고 한다.

또한, 2023년 기준 1년간 차종별 신품 베어링 장착 후 분해 정비 주기 도래 전 결함발생 현황을 차종별로 비교 조사한 결과, [표30]과 같다.

구분	정비수량	결함수량	결함률	비교(정비주기)
화차	1,914	85	4.4%	8년 80만km
고속차량	3,306	2	0.06%	140만km, 160만km
전동차	4,384	46	1.05%	4년
객차	1,544	0	0%	40만km

[표30] 차종별 신품 차축베어링 장착 후 분해정비 주기 도래 전 결함발생 현황

화차는 분해주기 도래 전 결함으로 판정된 것이 4.4%로 고속차량보다 73배, 전동차보다 4.2배 높았고, 이번 사고조사 과정에서 2024년 상반기 화차 차축베

11) KTX: 140만km, KTX-사천: 160만km

12) 2023년 기준, 정비 수량 1,132개 결함수량 6건(0.53%)

13) 조사 기간: 2020.4.1.~2024.3.31., 정비 수량 25,984개, 결함률 448개(1.7%)

14) 2023년 10월 18일 중앙선 아화-영천역 사고조사보고서 참조

15) EN12080 대응 철도차량용 차축베어링 국산화기술개발최종보고서(2019년, 국토교통과학기술진흥원)

어링의 신품 사용 후 정비 주기 도래전 결함으로 판별되는 사례가 증가하고 있는 것이 확인되었다. 따라서 화차의 차축발열은 사전에 탐지되지 않은 베어링의 결함 등에 의해 언제든지 발생할 수 있는 것으로 판단되었다.

아울러 화차 차축베어링 분해정비 주기를 8년 80만km로 설정하고 있으나, 현실에서 분해정비 주기 전에 베어링 결함이 다수 발생하는 것을 감안할 때 베어링 품질확보 방안과 더불어 정비 주기에 대한 체계적인 「신뢰성 분석」을 통해 가장 효율적이고 효과적인 정비 주기 설정이 필요한 것으로 분석되었다.

2.2.4.2 차축 베어링의 품질

화차에 사용하고 있는 차축베어링은 AAR 승인을 받은 SKF(사)와 TIMKEN(사) 제품을 주로 사용하고 있으나, 하자보증이 일반 부품과 같이 3년으로 되어 있어 베어링 수명과 정비 주기를 감안할 때 하자보증에 대한 실효성은 없는 것으로 분석되었다.

베어링은 일반적으로 고탄소크롬강이라고 하여 탄소함유량이 1% 정도인 합금강을 사용하는 것으로 알고 있었으나, 화차에 사용된 베어링은 침탄강이라고 하여 탄소함유량이 0.2% 정도인 표면경화강을 주로 사용하고 있는 것으로 확인되었다.

일반적인 고탄소베어링강의 규격 성분은 [표31]과 같고, 탄소함유량이 0.2%인 침탄강의 성분구성은 [표32]와 같다.

구 분	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo
KS) STB-2 JIS) SUJ-2	0.95 -1.10	0.15 -0.35	0.50 이하	0.025 이하	0.025 이하	1.30 -1.60	0.25 이하	0.25 이하	0.08 이하
ASTM/AISI 52100	0.93 -1.05	0.15 -0.35	0.50 이하	0.025 이하	0.025 이하	1.35 -1.60	0.30 이하	0.25 이하	0.10 이하
EN ISO 683-17 100Cr6	0.93 -1.05	0.15 -0.35	0.25 -0.45	0.025 이하	0.015 이하	1.35 -1.60	0.30 이하	-	0.10 이하

[표31] 고탄소베어링강 화학성분에 관한 국제 규격

구 분	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mo	Ni
EN) ISO 683-17 20Cr3	0.17- 0.23	0.4	0.6-1.0	0.025	0.015	0.6-1.0	0.30	-	-
SNCM 420			0.4-0.7			0.35-0.65		0.15-0.30	1.60-2.00

[표32] ISO에서 정하고 있는 침탄강(표면경화강) 성분 규격

화학성분표에서 보는 바와 같이 고탄소강과 표면경화강은 성분의 차이는 있으나, 고탄소강과 표면경화강은 서로 장단점이 있고 사용 조건과 특성에 따라 적용하고 있는 것으로 확인되었다.

외부 전문가 자문과 조사분석팀의 반복 검사를 통해 화차에 사용되고 있는 베어링은 반복하중과 충격 흡수 등에 장점이 있는 [표32]의 침탄강¹⁶⁾이 주로 사용되고 있는 것으로 확인되었고, 베어링 제작 품질과 관련한 문제점은 없는 것으로 분석되었다.

AAR 승인 조건으로 구매하고 있는 화차 차축베어링이 AAR 승인 조건이 아닌 방식으로 구매하는 다른 차종의 베어링에 비해 결함 발생률이 높으므로 화차 차축 베어링의 규격, 표준부담력 등의 근본적인 검토가 필요할 것으로 분석되었다.

이러한 검토와 적용에는 오랜 기간이 소요되므로 운영상 차축발열을 조기에 검지하여 사고로 이어지기 전 조치하는 것이 선행되어야 하므로 차축발열검지 장치의 신속한 설치와 신뢰성 확보가 무엇보다 중요할 것으로 판단되었다.

2.2.4.3 차축 베어링 정밀 분석

사고 베어링과 상대측 베어링, 동일 대차의 2위측 베어링에 대해 EN12080 및 ISO683-17 규격 기준에 따라 외관검사, 기계적성질 및 미세조직 검사, 화

16) 저탄소 함유(0.17~0.23%)로 축의 연성을 높여 충격 흡수를 좋게 하고, 표면은 질화법 등을 통해 탄소를 주입하여 경도를 단단하게 하여 내마모성을 유지함

학성분 검사, 그리스 성분 분석을 시행한 결과는 [표33]과 같았다.

분석 내용	분석 결과
외관 검사 및 파단면 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 사고베어링(R1)은 내륜과 롤러 조립부, 오일셀 등은 소실되었으며 외륜과 셀 마모링이 용착됨 ○ 상대축 L1은 탈선 이후 운행 충격으로 파손 및 마모되고, 그리스가 누설됨
기계적성질 및 미세조직검사 등	<ul style="list-style-type: none"> ○ 열을 받지 않은 L1, L2의 외륜 내표면 로크웰 경도 값 HRC 60, 내륜 외표면 HRC 60, 롤러 표면 HRC 61로 EN12080 및 ISO683-17 규격 기준에 적합 ○ R1의 외륜 내표면은 HRC 42.4로 EN12080의 경도 규격(HRC 57~66)보다 낮음 (발열 영향으로 경도 저하) ○ 베어링 구성품(R1, L1, L2) 표면경화층의 두께는 외륜 내표면, 내륜외표면, 롤러 모두 1.2mm로 측정됨
화학성분 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ R1, L1(Timken사)의 내륜, 외륜, 롤러의 심부는 탄소 함유량이 0.17~0.22%로 Case Hardening Bearing Steel(침탄표면경화강)인 19MnCr5 및 20MnNiCrMo3-2와 유사함 <ul style="list-style-type: none"> - R1, L1의 내륜, 외륜, 롤러의 표면부 탄소 함유량은 1.0% 정도로 침탄 표면경화강이며, Through Hardening Bearing Steel (심경화강)인 100CrMnSi4-4 강종과 유사함 ○ 비교 분석한 L2(SKFS사)의 내륜 및 외륜의 심부는 탄소 함유량이 0.17~0.22%로 Case Hardening Bearing Steel (침탄표면경화강)인 19MnCr5 및 20MnNiCrMo3-2와 유사함 <ul style="list-style-type: none"> - L2의 롤러는 탄소함유량이 심부와 표면 모두 1.0% 정도의 Through Hardening Bearing Steel(심경화강)인 100CrMnSi4-4 강종과 유사한 것으로 분석됨
그리스 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 그리스의 변질은 없었으며, Fe 함량은 0.08% 이하(0.05~0.08), 수분은 0.1% 미만(0.046~0.072)으로 검출되어 규격¹⁷⁾을 만족함

[표33] 사고축 베어링 기계적성질 및 성분 등 상세 분석 결과 요약

사고축 R1(사고 베어링), L1(상대축 베어링)의 롤러와 외륜, 내륜의 화학성분 분석 결과는 [표34]와 같이 분석되어 Timken사의 베어링은 표면경화강인 것이 확인되었고, 성분 관련 문제점은 없는 것으로 분석되었다.

17) 일본 신간선 차축베어링유 Fe 0.1% 이하, ISO 3733 수분함유량 0.2% 이하

구 분			C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
롤러	R1	심부	0.20	0.25	1.27	0.01	0.01	0.69	0.20	0.34
		표면	1.20	0.25	1.26	0.01	0.01	0.67	0.19	0.34
	L1	심부	0.19	0.23	1.28	0.01	0.01	0.70	0.19	0.42
		표면	0.84	0.28	1.37	0.01	0.01	0.73	0.09	0.21
베어링 외륜 내표면	R1	심부	0.17	0.28	1.38	0.01	0.02	0.63	0.12	0.19
		내표면	1.00	0.29	1.34	0.01	0.02	0.61	0.12	0.19
	L1	심부	0.18	0.29	1.41	0.01	0.02	0.62	0.12	0.19
		내표면	1.01	0.28	1.36	0.01	0.02	0.61	0.12	0.19
베어링 내륜 외표면	R1	심부	0.20	0.24	0.75	0.01	0.01	0.85	0.15	1.22
		외표면	1.04	0.25	0.75	0.01	0.01	0.81	0.15	1.22
	L1	심부	0.17	0.30	1.42	0.01	0.01	0.66	0.08	0.20
		외표면	0.94	0.31	1.41	0.02	0.01	0.65	0.08	0.20
기준	100CrMnSi4-4	0.93~1.05	0.45~0.75	0.90~1.20	0.025	0.015	0.90~1.20	0.10	-	
	EN12080 19MnCr5	0.17~0.22	0.40	1.10~1.40	0.025	0.015	1.00~1.30	-	-	
	ISO683-17 20MnNiCrMo3-2	0.17~0.23	0.40	0.60~0.95	0.025	0.015	0.35~0.70	0.15~0.25	0.40~0.70	

[표34] 사고측 베어링 화학성분 분석 결과

2.3 화물적재 분석

사고차량의 화물 중량은 실중량 측정 결과, 53.34톤으로 최대하중 54.0톤 이하로 적재하여 화물의 편적은 없었고, 과적에 의한 영향은 없었던 것으로 분석되었다.

2.4 선로분석

2.2.1 선로정비

사고 구간은 장대레일로 부설되었으며 유지관리는 선로유지관리지침에 따라 선형은 적정하게 관리되고 있었다.

2.2.2 선로점검

궤도검측차 점검과 선로점검차 점검, 일상순회점검은 기준에 따라 시행되고 있었고 사고에 영향을 줄 수 있는 특이사항은 없었다.

2.5 신호분석

사고열차는 북영천역을 출발하여 사고로 화산역에 정차할 때까지 관계된 신호와 진로는 양호한 상태였다.

사고열차는 B163-1T 궤도회로를 점유(09:47:10)한 후 평균 운행속도 약 50km/h로 40m를 운행한 것으로 계산하면, 점유 약 3초 후인 09:47:13경 탈선된 것으로 분석되었다.

2.6 종합분석

기관사는 열차 후부에서 연기 발생을 확인하고 비상 정차하였으나 차량의 탈선 사실을 확인하지 않았고, 로컬관제원은 건널목 지장에 따른 민원을 우려하여 화산역까지 운행을 유도하여 계속 운행하게 함으로써 선로 손상 등의 피해를 키운 것으로 분석되었다.

사고차량은 전부 대차 R1 차축 베어링의 발열로 해당 부분의 차축이 절손되어 떨어져 나감에 따라 윤축이 유동되고 대차가 틀어지면서 탈선하였고, 사고축의 상대측 축상은 탈선 이후 운행에 따른 침목 및 레일체결구 등과의 반복 충격으로 엔드캡 고정볼트가 이완되고 그리스가 누유된 상태였다.

사고차량의 대차 형식은 용접구조형이고, 축종은 RCT-D축이며, 차륜 각부를 측정된 결과, 기준 이내였고, 차축발열의 원인이 될 수 있는 담면 찰상 및 박리는 확인되지 않았으며, 사고축과 같이 분해 정비된 2위축의 그리스량은 기준($360\pm 30\text{g}$) 이내였으며, 정비 과정의 이상은 확인되지 않았다.

사고차량의 축베어링은 2020년 중정비에서 차륜삭정으로 차축을 분리하게 됨에 따라 정비 주기(8년) 도래 전인 5년 4개월 만에 분해 정비가 시행되었고, 그리스는 283g 정량¹⁸⁾이 주입되었으며, 베어링 장착 후 8.5년째 사용으로 장기 사용에 따른 노후화로 보기도 어려웠다.

이번 사고 이전 동종사례인 2023년 10월 중앙선 아화-영천역 사고의 동일 대차 베어링 정밀 분석에서 베어링 표면에 결함이 진행되는 것이 확인되었고, 선행 사례 조사 과정에서 화차 차축 베어링 결함률이 높은 것이 확인되었다.

철도차량 차축베어링의 결함률이 고속차량은 1% 미만이고, 전동차의 경우 2% 미만인 것에 비해 화차는 17.8%에 달해 결함률이 매우 높은 것으로 확인

18) 사고축(1위)은 TIMKEN사 베어링: 283g, 2위축은 SKF사 베어링: $360\pm 30\text{g}$

되었고, 2023년 기준 1년간 차종별 신품 베어링 장착 후 분해 정비 주기 도래 전 결함 발생 현황을 조사한 결과, 화차는 결함률이 4.4%로 고속차량(0.06%)보다 73배, 전동차(1.05%)보다 4.2배 높은 것으로 확인되어 베어링의 결함이 차축발열로 이어졌을 개연성이 있는 것으로 분석되었다.

아울러 화차의 차축베어링 분해 정비 주기를 8년 80만km로 설정하고 있으나, 분해 정비 주기 전에 베어링 결함이 다수 발생하는 것을 감안할 때 베어링 품질확보 방안과 더불어 정비 주기에 관한 체계적인 신뢰성 분석을 통해 가장 효율적이고 효과적인 베어링 정비 주기의 재설정이 필요한 것으로 분석되었다.

또한, AAR 승인을 받은 것이 품질보장의 근거는 될 수 있으나, 화차 차축 베어링이 다른 차종의 베어링에 비해 결함 발생률이 높으므로 구매 조건의 개선 검토와 베어링의 규격, 표준부담력 등의 근본적인 검토가 필요하며, 이러한 검토와 적용에는 오랜 기간이 소요되므로 차축발열검지장치의 신속한 설치와 신뢰성 확보가 무엇보다 중요할 것으로 분석되었다.

2023년 5월 영천삼각선 사고조사보고서에 언급한 바와 같이 차축 베어링의 발열은 그리스 누유, 그리스 주입량 부적정, 과적, 외부적 충격, 이물질이나 수분 유입, 베어링 품질 불량 등 다양한 요인에 의해 발생할 수 있음을 고려할 때, 차축 베어링 결함을 100% 예방하는 것은 현실적으로 어려우므로 발열에 의한 차축 절손, 탈선사고로 진행되기 전에 조치할 수 있도록 모니터링 체계를 강화하는 것이 중요할 것으로 분석되었다.

기타 선로 및 신호분야는 사고의 발생과는 관련이 없었으며, 탈선 후 탈선 상태의 미확인 상태에서 열차가 운행되면서 선로의 피해가 가중되었다.

3. 결론

3.1 조사 결과

3.1.1 본무기관사는 북영천~화산역 사이를 운행할 때 열차 후부에서 발생하는 연기를 발견하고 43km/h 속도에서 비상제동을 취급하여 호당4 철도 건널목상에 정차한 후 연기가 발생한 차량 상태를 확인하지 않은 채 철도 건널목의 자동차 통행을 위해 호당3 철도건널목까지 이동시켰다.

3.1.2 본무기관사는 비상 정차한 사고 열차를 호당3 철도건널목까지 이동시키면서, 열차에서 연기가 발생하므로 화산역에 정차해서 확인하겠다고 신녕역 관제원에게 통보하여 화산역 정차를 승인받은 것으로 조사되었다.

3.1.3 본무기관사는 화산역 정차를 승인받은 2분 후 열차 후부에서 연기가 많이 나므로 선로에 정차해서 확인하고 가겠다고 정차를 요청하였으나, 신녕역 관제원으로부터 화산역까지 들어오라는 지시를 받은 것으로 조사되었다.

3.1.4 신녕역 관제원은 북영천~화산역 구간의 8개 철도 건널목으로 인해 평소 민원이 많은 점을 의식하여, 기관사의 선로 정차 요청을 관제사에게 보고하지 않은 상태에서 철도 건널목이 많은 구간이므로 화산역까지 들어오라고 지시한 것으로 조사되었다.

3.1.5 기관사는 화산역 진입 전 장내신호기 외방에서 교대(보조기관사→본무기관사) 후 화산역으로 진입 중 3번째 화차가 탈선하여 2번째 화차와 3번째 화차 사이가 분리되며, 제동관 공기호스 파열로 자동으로 비상제동이 체결되어 정차한 것으로 분석되었다.

3.1.6 사고차량은 전부 대차 R1 차축 베어링 발열로 해당 부분의 차축 저널부가 절손되어 떨어져 나감에 따라 윤축이 유동되고 대차가 틀어지면

서 탈선한 것으로 조사되었다.

3.1.7 1위축의 상대측 축상은 탈선 후 운행 충격으로 엔드캡 고정볼트가 이완되고 그리스가 누유되는 상태였으며, 사고 축상하우징은 축 절손 후 운행 과정의 충격에 의해 스프링과 함께 선로변에 탈락하였고, 절손된 축저널부는 엔드캡이 붙어 있는 상태로 현저터널 내에서 발견되었다.

3.1.8 사고차량의 대차는 용접구조형이고 축종은 RCT-D 축이며, 차륜 등 주행장치 각부를 측정된 결과, 기준 이내였고 차축발열의 원인이 될 수 있는 차륜담면 찰상이나 박리는 확인되지 않았다.

3.1.9 사고 축은 소실과 손상으로 그리스량을 측정할 수 없었고, 사고축과 같이 분해 정비 된 2위 축의 그리스량을 측정된 결과 기준 이내였고, 베어링 분해 정비 시 그리스는 정량(283g)이 주입된 것으로 기록되어 있었다.

3.1.10 사고차량의 차축베어링은 사고 3일 전 기본 정비(ES), 7개월 전 시행한 GI-1 정비에서 양호하였던 것으로 기록되어 있었고, 2020년 11월 시행한 분해 정비에서 2015년 7월 장착된 베어링이 해당 차축의 차륜삭정으로 분리하게 됨에 따라 분해 정비 주기(8년) 도래 전인 5년 4개월 만에 분해 정비가 시행된 것으로 확인되었다.

3.1.11 사고 베어링은 신품 장착 후 8.5년째 사용되고 있었던 것으로 장기 사용에 따른 노후화로 보기 어렵고, 분해 정비 후 3년 2개월이 경과하여 정비 과정에서의 불순물, 수분 등의 유입에 따른 문제점이 있었다고 보기도 어려웠다.

3.1.12 화차의 차축베어링은 분해정비 시 결함률이 2022년 기준 17.8%에 달해 결함률이 매우 높고, 신품 장착 후 분해주기 도래전 결함으로 판정된 것이 2023년 기준 4.4%로 다른 차종(고속차량 0.06%, 전동차 1.05%, 객차

0%)에 비해 높은 것으로 확인되었다.

3.1.13 화차는 베어링 분해 정비 주기를 8년 80만km로 설정하고 있으나, 분해 정비 주기 전에 베어링 결함이 다수 발생하는 것을 감안할 때 베어링 결함에 의한 차축발열은 언제든지 발생할 수 있는 것으로 분석되었다.

3.1.14 차축 베어링의 발열은 윤활 불량, 과적 또는 편적, 외부적 충격, 이물질이나 수분 유입, 베어링 품질 등 다양한 요인에 의해 발생할 수 있음을 고려할 때, 차축 베어링 결함을 온전히 예방하는 것은 현실적으로 어려우므로 발열에 의한 차축 절손, 탈선사고로 진행되기 전에 조치하는 것이 무엇보다 중요한 것으로 분석되었다.

3.1.15 또한, AAR 승인을 받은 것이 품질보장의 근거는 될 수 있으나, 다른 차종 베어링에 비해 결함 발생률이 높으므로 구매 조건의 개선 검토와 베어링의 규격, 표준부담력 등의 근본적인 검토가 필요할 것으로 분석되었다.

3.1.16 사고 베어링과 비교 베어링 상세 분석에서 표면결함 등은 발견되지 않았고 화학성분 분석 결과 표면경화강 이었으며, 그리스 성분 분석 등에서도 기준치 이내로 특이사항은 없는 것으로 분석되었다.

3.1.17 사고차량의 화물 적재 중량은 기준 이내였고, 편적은 없었던 것으로 분석되었다.

3.1.18 CCTV 영상을 확인한 결과, 사고열차는 서경주역 통과 시 최초로 불꽃 발생이 확인되었고 이후 역에서는 확인되지 않았다.

3.1.19 사고지점의 선로는 적정하게 보수 및 점검이 시행되고 있었고, 신호와 진로는 양호한 상태였다.

3.2 사고원인

이번 한국철도공사 중앙선 북영천~화산역 사이에서 발생한 화물열차 탈선 사고의 원인은 ‘차축 베어링의 발열로 해당 부분의 차축이 절손되고 윤축이 유동되어 대차가 불안정해진 것’으로 결정하였다.

또한, 기여 요인은 ‘① 베어링 결함 등을 조기에 탐지하지 못한 점, ② 열차 운행 중 차축 발열이 발생하여도 검지할 수 있는 설비가 없는 점’으로 결정하였다.

4. 안전권고

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제26조에 따라 2024년 1월 7일 한국철도공사 중앙선 북영천~화산역 사이에서 발생한 화물열차 탈선사고에 대하여 다음과 같이 권고한다.

4.1 한국철도공사에 대하여

- 4.1.1 화차 차축베어링 품질확보 및 정비방법 등에 대한 신뢰성 분석을 시행하여 개선 방안을 마련할 것
- 4.1.2 화차 운행 중 축상발열 여부를 확인할 수 있는 시스템 구축 및 열차운행 상태 모니터링 강화 방안을 조속히 추진할 것
- 4.1.3 열차가 사고 등으로 철도 건널목을 지장하여 정차한 경우의 조치에 관한 사항 등을 마련할 것

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

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

국민 여러분의 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: 044-201-5431

E-mail: araib@korea.kr