

철도사고 조사보고서

한국철도공사

영동선(봉성역→봉화역 사이, 영주 기점 20.405km)

제3398화물열차(전기 8092+8093호 + 화차 17량)

열차탈선

2019년 3월 14일(목) 18시 30분경



2020. 6. 19.



항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제 2조에 의거 사고조사가 이루어졌으며, 제25조에 따라 작성되었다.

같은 법률 제1조에서 「철도사고 조사는 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고 원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고의 예방과 안전 확보에 이바지함」을 목적으로 하고 있다.

또한, 제30조에 따라 사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정처분 절차 또는 행정 재송 절차와 분리·수행되어야 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 레

한국철도공사 영동선 봉성역~봉화역간 화물열차 탈선사고 1

개요 2

1. 사실 정보 3

 1.1 사고의 경위 3

 1.2. 피해사항 4

 1.3 인적 정보 및 업무 수행사항 4

 1.4 현장 정보 10

 1.5 열차와 차량 정보 11

 1.6 차축 베어링 분해 검수 실태 16

 1.7 신호 및 전차선 정보 17

 1.8 기상 정보 18

2. 분석 19

 2.1 업무 수행사항 19

 2.2 차축 베어링 분해 검사 20

 2.3 컨테이너 상하차 작업 23

 2.4 그리스 성분 25

 2.5 종합 분석 27

3. 결론 28

 3.1 조사 결과 28

 3.2 사고 원인 30

4. 안전 권고 31

 4.1 한국철도공사에 대하여 31

한국철도공사 영동선 봉성역~봉화역간 화물열차 탈선사고

- 운영기관 : 한국철도공사
- 운행노선 : 영동선
- 발생장소 : 봉성역~봉화역 사이 (영주역 기점 20.405km 지점)
- 사고열차 : 제3398화물열차 (철암역 16:48 → 영주역 18:59)
 [전기 8092+8093호 + 화차 17량 편성, 환산 25.7량(컨테이너 실은 차)]
- 사고유형 : 열차탈선
- 발생일시 : 2019년 3월 14일(목) 18시 30분경



[그림 1] 사고현장 개요

개요

2019년 3월 14일 16:48에 영동선 철암역을 출발하여 영주역으로 운행 중이던 제3398호 화물열차(이하 '사고열차'라 한다)가 사고구간을 58km/h 속도로 운행 중 기관사가 후부의 먼지를 발견하고 18:39분경 정차하여 확인하니 탈선화차(976243호, 이하 '탈선화차'라 한다)의 뒷 대차가 진행방향 좌측으로 탈선되었고, 좌측 세 번째 차축이 절손되어 있었다.

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았으나, 탈선화차의 차축이 절손되고 대차부품 일부와 선로시설의 PCT침목, 체결구 등이 파손되는 피해가 발생하였다.

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 주원인을 '차축에 설치되어 있는 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에 결함이 있는 상태에서 운행 도중 차축 베어링이 파손되면서 차축이 절손되어 탈선한 것'으로 결정하였다.

기여요인으로는 '화차에 컨테이너를 싣고 내릴 때 차축 베어링에 충격이 가해진 것, 차축 베어링의 분해검수 주기와 교환 주기가 화차에 적재되는 화물의 종류, 적재방법 및 사용환경의 차이에도 불구하고 동일하게 규정하여 관리한 것'으로 결정하였다.

이에 항공·철도사고조사위원회는 한국철도공사에 4건의 안전권고를 한다.

1. 사실 정보

1.1 사고의 경위

2019년 3월 14일 16:48에 철암역을 출발하여 영주역으로 운행 중이던 사고 열차의 탈선화차의 세 번째 좌측 차축 베어링이 과열되어 봉성역을 약 3.250km를 지난 지점(영주 기점 22.450km)에서 차축이 절손되며 엔드캡이 탈락되었다.

이후 약 2.045km를 더 진행한 지점(영주 기점 20.405km)에서 탈선화차의 뒷 대차가 진행 방향 좌측으로 탈선하였고 탈선한 채로 진행하는 도중 기관사가 후부의 먼지를 발견하고 18:39경 정차(영주 기점 17.500km 지점)하여 확인한 결과 탈선화차의 좌측 세 번째 차축이 절손되어 있었다.

선로 변에서 발견한 차축 베어링 부품의 위치와 탈선위치 등은 [그림2]와 같다.



[그림2] 차축 베어링 부품 발견 위치와 탈선 위치

1.2. 피해 사항

1.2.1 인명 피해

이 사고로 인명 피해는 발생하지 않았다.

1.2.2 물적 피해

이번 사고로 화차 1량이 탈선되면서 대차 1세트, 차축 베어링, 차축 및 차륜 등이 파손되어 차량 분야에서 약 1,156만원, 교량 침목 20개, 콘크리트 침목 30개 등이 파손되어 선로 분야에서 611만원, 레일본드선 12개 등이 파손되어 신호 분야에서 108만원 등 총 1,875만원의 물적 피해가 발생하였으며 운행에 지장을 받은 열차는 없었다.

1.3 인적 정보 및 업무 수행사항

1.3.1 사고열차 기관사

사고열차 기관사(55세, 남)는 1988년 8월 5일 부기관사로 임용된 후, 1997년 6월 27일부터 사고 당시까지 기관사로 근무하고 있었으며, 디젤차량 및 제1종 전기차량 운전면허를 보유하고 있었다.

사고열차 기관사는 적성검사, 2018년 신체검사에 합격하였고, 사고당일 승무적합성 검사시 이상이 없었다.

사고열차 기관사는 봉성역을 계획보다 1분 일찍 통과(현 18:24) 후 하구배 구간을 발전제동을 체결한 상태로 운행하다가 봉성역을 진입하면서 발전제동을 완해하였고, 타력으로 봉성역을 진출하면서 평소와 다른 느낌이 감지되어 보조기관사에게 후부 상태를 확인하라고 지시하였으나 이상을 발견하지 못하여 봉성역~봉화역간(구 거촌역 외방)에서 상용제동을 취급하여 일단 정

차 후 비상제동까지 취급하였다고 진술하였다. 이후 계속 운행 중 열차의 후부 상태를 다시 확인하니 먼지가 발생하는 것이 확인되어 즉시 상용제동으로 정차(영주기점 17.250km, 현 18:39) 후 보조기관사를 후부로 파견하여 확인한 결과, 13번째 화차의 후부 대차(3,4위 차축 차륜 전체)가 진행 방향 좌측으로 탈선한 것을 확인하고 관계처에 현 상황 급보 및 구원요구 후 현장에서 대기했다고 진술하였다.

1.3.2 사고열차 보조기관사

사고열차 보조기관사(45세, 남)는 1999년 3월 11일 부기관사로 임용된 후, 2013년 2월 4일부터 사고당시까지 기관사로 근무하고 있었으며 디젤차량 운전면허를 보유하고 있었다.

사고열차 보조기관사는 2012년 적성검사, 2018년 2월 신체검사에 합격하였고, 사고당일 승무적합성 검사시 이상이 없었다.

사고열차 보조기관사는 봉성역을 통과하여 봉화역에 진입하면서 후부를 확인하였으나 이상이 없었으며, 봉성역을 통과하면서 사고열차 기관사가 열차의 느낌이 다소 이상하니 후부를 확인하라고 지시하여 봉성역 진출 후 400곡선(우) 지점에서 열차 뒷 부분이 역사를 지날 때까지 후부 상태를 재차 확인하였으나 특별한 이상을 발견하지 못했다고 진술하였다. 사고열차 기관사가 그래도 미심쩍어 봉성역~봉화역 간 23‰ 하구배 구간을 진입하면서 상용제동 취급으로 열차를 일단 정차(영주 기점 약 19.300km) 시켜 놓고 비상제동 취급과 후부 확인까지 하였으나 특별한 이상이 없어 운행을 계속하였고, 사고열차 기관사가 봉화 2건널목 전방에서 후부를 확인하던 중 갑자기 상용제동 취급으로 열차를 정차(영주 기점 17.250km, 현 18:40)시켜 놓고 완해 불량이 있는 것 같다면 후부에 가보라고 하여 현장을 확인하니, 앞에서 13번째 화차의 뒷 대차가 진행방향 좌측으로 탈선된 것을 확인하고 기관사에게 휴대 무선전화기로 현장상태를 통보하였고, 여러 사람(기관사, 동력차 콜센터, 관제사, 부소장)으로부터 사진전송 요청이 있어 현장사진을 촬영하여 전송한 후 기관차로 복귀하여 대기하였다고 진술하였다.

1.3.3 봉화역 로컬관제원

봉화역 로컬관제원(46세, 여)은 1999년 9월 16일 (구)철도청 철암역 수송원으로 최초 임용되었으며, 2017년 6월 30일 봉화역 부역장으로 임용되었고, 2018년 12월 31일 봉화역으로 재전입하여 사고당일까지 부역장의 업무를 수행하였으며 사고당일은 로컬관제원의 연차로 인하여 로컬관제원의 업무를 수행하였다.

봉화역 로컬관제원은 신체검사, 적성검사, 직무교육을 수료하여 로컬관제 업무를 수행할 자격을 갖추고 있었다.

사고당일 봉화역 로컬관제원은 주간근무자(09:00~19:00)로서 18:24분경 사고열차가 봉성역을 통과하는 것을 확인 후 봉화역 상본선 통과 신호를 확인하고, 18:32경 운전 정보교환을 하였으며, 이후 야간근무자와 교대를 위한 업무 인수인계 중(18:40분) 사고열차 기관사로부터 열차 이상으로 봉화역 정차 요청이 있어 구로교통관제센터 관제사에게 통과 신호를 정차 신호로 변경해 줄 것을 요청하였고,

사고열차로부터 '현장 정차하여 열차상태를 확인하고 있다'는 무전기 소리가 들려 재차 무전교신을 시도하던 중 18:47경 관제사로부터 사고열차 탈선 사실을 전화로 통보받고 매뉴얼에 따른 안전조치 후 야간 부역장과 함께 초기 대응팀을 구성하여 현장 출동하였다고 진술하였다.

1.3.4 기타역 로컬관제원

사고와 관련이 있는 아래 3역의 로컬관제원은 모두 신체검사와 적성검사, 로컬관제원 보수교육을 마치고 로컬관제원 자격을 가지고 있었다.

1.3.4.1 석포역 로컬관제원

석포역 로컬관제원은 사고열차를 석포역 2번선에서 조성하여 제동시험을 완료한 후 17시12분경 2번선 입환신호기에 진행신호를 현시하여 석포역을 출발시켰다.

1.3.4.2 승부역 로컬관제원

승부역 로컬관제원은 사고열차가 승부역 1번선을 통과 시 신호취급은 구 로교통관제센터에서 CTC로 취급하였고, 사고열차 기관사와 무선으로 상분선 통과 및 낙석주의 개소에 대해 서행을 통보하였고, 열차 통과 시 고객의 안전을 위하여 승강장을 확인하였다. 또한 사고열차 통과 시까지 CCTV를 확인하였지만 특이사항은 없었다고 진술하였다.

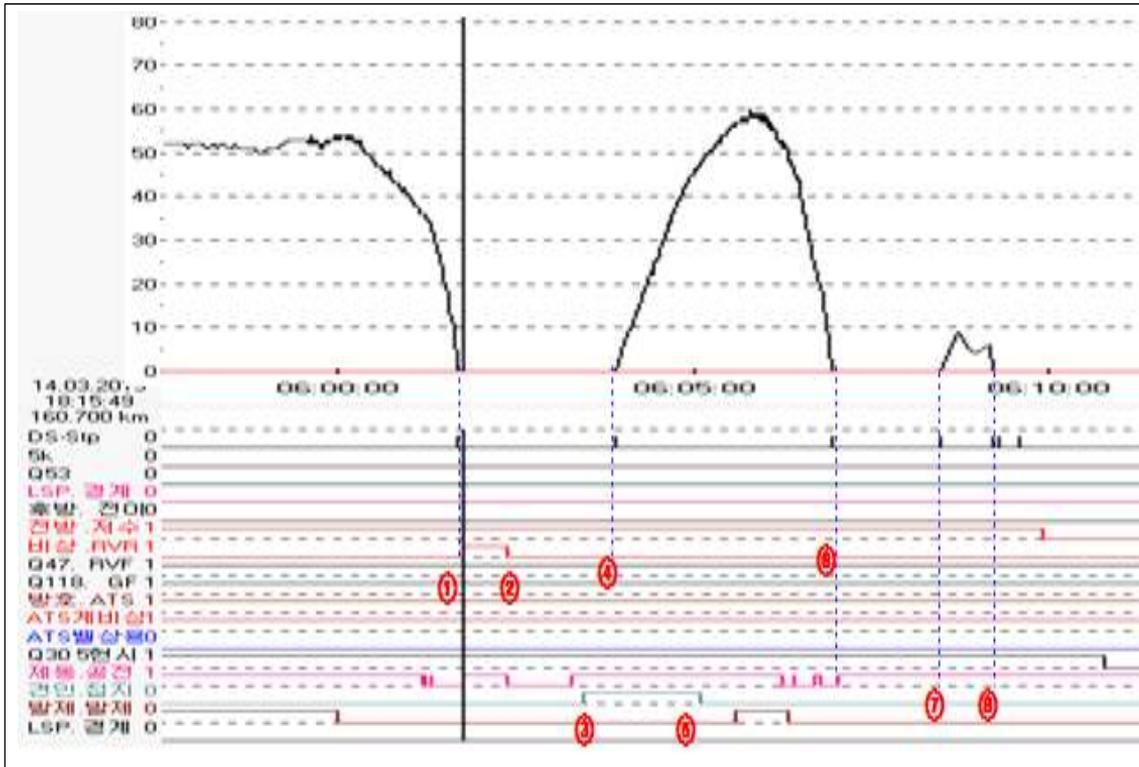
1.3.4.3 춘양역 로컬관제원

춘양역 로컬관제원은 5역(현동역, 임기역, 녹동신호장, 춘양역, 법전역)의 운전취급을 담당하고 있으며 사고열차가 분천역 통과(17:37경)한 이후 현동역에서 법전역 통과(18:11경) 시까지 조작표시판을 통하여 신호와 진로상태를 확인하였고 CCTV를 통하여 사고열차 운행 중 이상 유무를 확인하였으나 특별한 이상은 확인할 수 없었다고 진술하였다.

1.3.5 사고열차 운행기록

사고열차의 운행기록을 분석해 본 결과 [표1]과 같이 18:30:39경(①) 약 54km/h 속도로 운행 중 열차가 탈선한 것으로 추정되며 18:39:45경(⑥) 탈선 후 약 2,905m를 진행하다 최종 정차하였다.

구분	시간	거리	열차상태	비고	
①	18:30:39	159.735	속도 54km/h	열차탈선 추정	2,905m (탈선 후 이동거리)
②	18:32:11	160.700	열차정지	965m	
③	18:34:30	160.700	열차출발		
④	18:37:27	162.615	열차정지		
⑤	18:39:15	162.615	열차출발	1,940m	
⑥	18:39:45	162.640	열차정지		



[표1] 사고열차의 운행기록 정보

1.3.6. 열차무선 녹취록

사고열차의 무전기 녹취록을 확인한 결과 [표2]와 같이 18:34분 기관사가 봉화역을 호출하여 '열차 통과할 때 주행부의 상태를 봐주세요.' 18:37분 봉화역을 재차 호출하여 '우리 여기 완해 불량차가 생겨 섰다가 가겠습니다. 조치하고 가겠습니다. 봉화역에 정차하게 해주세요.' 18:39분 '우리 도중에 조치하고 가겠습니다. 봉화역에 열차 잡아 주세요.'라고 요청하였으며, 이후 현장에서 차량상태를 확인하고 열차의 탈선을 확인하였다.

시 간	사고열차 기관사	관계자	비 고
18:34	철도 봉화 3398 이상!		봉화역
		철도 봉화입니다. 말씀하세요.	
	열차 통과할 때 주행부의 상태를 봐 주세요.		
		통과할 때 확인해 드리겠습니다.	
18:37	봉화 3398.		
		철도 봉화역입니다. 말씀하세요.	

	우리 완해 불량차가 생겨 섰다가 가겠습니다. 조치하고 가겠습니다. 봉화역에 정차하게 해주세요.		
		예 알겠습니다.	
18:39	봉화 3398.		
		3398 말씀하세요. 봉화역 이상!	
	우리 도중에 조치하고 가겠습니다. 봉화역에 열차 잡아 주세요.		
		예. 관계에 연락해 두었습니다.	
18:40	3398 후부 나오세요.		보조기관사
	**개방하고 천천히 조심히 가요.		
		여기서 조치해요. 들어가면 안 될 것 같아요.	

[표2] 열차무선 녹취록

1.3.7 CCTV 확인(역 및 기관차)

[그림3]과 같이 사고열차가 석포역을 출발 후 탈선되어 정차할 때까지 역사의 CCTV 녹화영상을 확인한 결과 봉성역 통과 중 차량 하부에서 최초로 불꽃이 발생하는 것을 확인하였으나, 춘양역과 봉성역 사이 법진역은 CCTV가 설치되어 있지 않아 정확한 위치를 확인할 수 없었다.

또한 사고열차 기관차에는 CCTV 녹화장비가 없어 영상을 확인할 수 없었다.



① 춘양역 통과 중(18:17, 이상 없음) ② 봉성역 통과 중(18:22, 불꽃 발생)

[그림3] 각 역 CCTV 화면

1.4 현장 정보

1.4.1 최초 탈선위치 및 최종 정차위치

사고열차의 최초 탈선흔적은 [그림3]과 같이 영주역 기점 약 20.405km 지점에서 발견되었으며, 탈선화차의 세 번째 차축의 좌우 차륜이 열차 진행방향 좌측으로 떨어지면서 자갈에 끌린 흔적을 남겼다. 사고열차는 최초 탈선위치에서 약 2.905km를 더 진행하여 영주역 기점 약 17.500km 지점에 정차하였다.([그림4])



최초 탈선위치 (영주역 기점 20.405km)



최종 정차위치(영주역 기점 17.500km)

[그림3] 최초 탈선위치 및 최종 정차위치



[그림4] 사고열차 탈선 상태

1.4.2 선로 정보

사고지점(영주역 기점 20.405km)이 포함된 영동선은 경북 영주와 강릉 사이를 잇는 길이 192.7km의 단선철도이며, 사고개소인 봉성역~봉화역 간은 1955년도에 개통하고, 1997년도에 전철화 되었다.

사고지점의 본선 선형은 열차 진행방향으로 우곡선(R:400m, 시점20.450km - 종점21.004km, 연장 554m)이며, 완화곡선¹⁾ 종점(PS)²⁾ 부근으로 선로 기울기는 평지구간(기울기 0%)이고, 사고지점 직전은 하 기울기 23.5% (20.450km)이었고, 구간의 최고속도는 55km/h이하였다.

사고지점의 선로는 50kg 장척레일³⁾(‘16년 부설)에 PC침목, 코일스프링 크립, 도상자갈로 구성되어 있었으며, 봉성교(L=8.8m), 유곡1교(L=8.8m), 유곡2교(L=8.8m), 봉화2건널목(무인 1종)이 위치하고 있었다.

선로유지관리 상태를 보면 「선로유지관리지침」 제170조(궤도검측차 점검), 제172조(선로점검차 점검), 제200조(일상 순회점검)에 따라 궤도검측차는 분기 1회, 선로점검차는 월 1회 점검을 각각 시행하고, 주 1회 도보순회 점검을 병행 시행하였으며, 장비 및 인력에 의한 점검 결과에는 탈선에 영향을 줄 수 있는 특이사항은 없었다.

1.5 열차와 차량 정보

1.5.1 사고열차의 조성

사고열차는 [표3]과 같이 전기기관차 2량(EL8092+8093호)과 컨테이너 화차 17량으로 조성(환산 25.7량, 열차장 19.8량)되어 있었으며 아연피가 적재된 컨테이너를 싣고 있었다.



1) 완화곡선 : 직선과 원곡선 사이의 곡률 변화를 체감하기 위한 특수한 곡선
 2) 종점(PS) : 완화곡선 시점(SP) - 원곡선 시점(PC) - 원곡선 종점(CP) - 완화곡선 종점(PS)
 3) 장척레일 : 한 개의 길이가 25m보다 길고 200m(고속철도는 300m)미만인 레일을 말한다.

No	차량번호	차종	영/공차	환산	차 길이
	8092	구형 전기기관차		0.0	0.0
	8093	구형 전기기관차		0.0	0.0
1	76119	컨테2TEU	영	1.50	1.0
2	763060	컨겸평판	영	1.60	1.10
3	70421	컨테2TEU	영	1.50	1.0
4	976511	컨테3TEU	영	1.50	1.40
5	763096	컨겸평판	영	1.60	1.10
6	70454	컨테2TEU	영	1.50	1.0
7	976906	컨테3TEU	영	1.50	1.40
8	70487	컨테2TEU	영	1.50	1.0
9	975252	컨테3TEU	영	1.50	1.40
10	760904	컨겸50	영	1.50	1.10
11	975206	컨테3TEU	영	1.50	1.40
12	976807	컨테3TEU	영	1.50	1.40
13	976243	컨테3TEU	영	1.50	1.40
14	70267	컨테2TEU	영	1.50	1.0
15	70413	컨테2TEU	영	1.50	1.0
16	70853	컨테2TEU	영	1.50	1.0
17	760944	컨테이너전용	영	1.50	1.10

[표3] 사고열차의 조성 현황

1.5.2 사고열차 제원

사고열차에 구성되어 있던 기관차와 화차의 제원은 각각 [표4] 및 [표5]와 같다.

구 분	제 원	구 분	제 원
기관차번호	8092, 8093	최고속도	85km/h
차 종	전기기관차	자 중	132t
도입일	1987.11.30.	길 이	20,730mm
대차형식	Bo-Bo-Bo	높 이	4,495mm
제동장치	발전제동, 공기제동	폭	3,060mm
연결기형식	E 형	고정축거	4,200mm

[표4] 기관차 주요 제원

구 분	제 원	구 분	제 원
차 종	평판차	최고속도	90km
차량번호	976243	자 중	20.6t
세부차종	컨테이너 3T	하 중	56.5t
도입일	1995.7.15.	길 이	19,570mm
대차형식	바바	높 이	1,065mm
제동장치	공기제동(K2)	폭	2,579mm
연결기형식	E 형	고정축거	1,676mm

[표5] 탈선화차의 주요 제원

1.5.3 탈선화차의 정비 현황

탈선화차의 종별 검수 이력은 [표6]과 같다.

검수 종류	시행일	시행 장소
LI6(경정비)	'19.1.30. '17.11.30.	부산차량사업소 부곡차량사업소
GI1(중정비1)	'18.6.24.	부산차량사업소
GI2(중정비2)	'17.4.28.	부산차량사업소

[표6] 탈선화차의 종별 검수 이력

탈선화차는 한국철도공사 「객화차유지보수기준」 제18조에 따라 주행장치 대차 각부 분해세척, 청소 후 액체침투 탐상, 차축 롤러 베어링의 분해세척 후 각 부품의 상태 확인 및 차륜삭정 등을 시행하는 중정비2(GI-2)를 2017년 4월 28일 실시하였고 검사 이후 사고 당일까지 122,255km를 주행하였다.

탈선화차의 차축에 대한 초음파탐상 및 유간측정 등의 결과는 [표7]과 같다.

위수	축번호	감도	주파수	판독 (등급)	축방향 유간(좌)	축방향 유간(우)
1	A0201B4971	35/35/35/35	3M	PN	0.30	0.35
2	A9712B4968	35/35/35/35	3M	PN	0.36	0.38
3	A0507B4970	35/35/35/35	3M	PN	0.30	0.29
4	A0006B4969	35/35/35/35	3M	PN	0.30	0.34

[표7] 탈선화차 윤축 초음파 탐상 결과 (유간 기준치: 0.025~0.50)

1.5.4 탈선화차의 차축 베어링

탈선화차에는 TIMKEN사, SKF사, KOYO사의 RCT NFL⁴⁾ 베어링이 혼합 설치 되어 있었으며, 탈선화차의 절손된 차축에는 KOYO사의 베어링이 설치 되어 있었다. 이 차축 베어링은 신차 도입 시 최초 설치되었고 차축 베어링의 구조는 [그림6]과 같다.



[그림6] RCT형 NFL 베어링 구조

1.5.5 탈선화차의 차축 및 차륜의 상태

탈선화차의 뒷 대차의 왼쪽 앞 차축은 [그림7]과 같이 절손되었으며 엔드캡 부분이 절손된 상태의 차축이 사고현장에서 발견되었다.



[그림7] 절손된 탈선화차 차축

4) RCT NFL : Rotate end Cap and Tapered roller bearing No Field Lubrication의 약자로서, 정상 운행 중이면 장기간 그리스의 재급유가 필요하지 않은 그리스 윤활방식의 테이퍼 롤러 베어링

탈선화차 뒷 대차의 엔드캡 상태는 [그림8]과 같고 차축 베어링 과열 확인을 위해 붙여 놓은 70도 온도 테이프는 탈락되었거나 변색이 없었다. 또한 모든 차축 베어링에서 그리스 누유 흔적은 발견되지 않았다.



3L : 차축 절손 온도테이프 없음



3R : 70도 온도 테이프 변색 없음



4L : 70도 온도 테이프 변색 없음



4R : 70도 온도 테이프 변색 없음

[그림8] 탈선화차 차축 베어링 조립체

[그림9]와 같이 파손된 차축 베어링 외륜은 대차에 고착되어 있었고 그 밖의 차축 베어링 부품은 사고 현장에서 수거되었다. 파손된 차축 베어링은 내륜, 외륜, 롤러, 케이지 등이 심하게 훼손된 상태였다.



[그림9] 대차 프레임에 고착된 차축 베어링 외륜과 파손된 차축 베어링

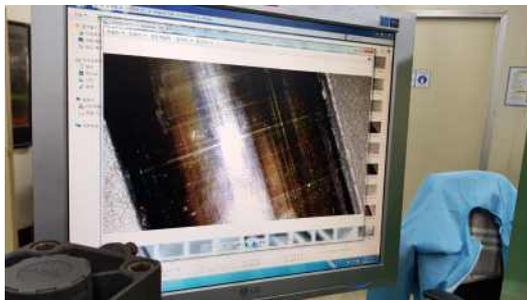
1.6 차축 베어링 분해검수 실태

한국철도공사 차량정비단에서는 「객화차유지보수기준」에 따라 중정비 중 차축 베어링 분해검수 기준(주행키로 80만km, 회기한도 8년)에 도달하는 차축 베어링에 대해서는 세척 → 내륜의 청소 → 검사 → 외륜의 검사 → 각부의 측정 → 표기, 기록 → 조립 → 그리스 주입 → 오일 씬 조립 후 차축에 압입하는 분해검수 과정으로 중정비를 시행하고 있었다.

탈선차량의 경우 사고 이전('17.4.28) 중정비2(GI2) 시행 시 차축 베어링을 분해 세척한 후 [그림10] 처럼 외륜과 롤러 표면의 필링(미세 박리), 브리넬링(표면 변형), 스폴링(피로성 박리) 등을 돋보기와 디지털 현미경으로 확인하고 있었으며, 차축 베어링 유간 및 내륜 측정기로 치수를 측정하였으며, 탈선화차의 롤러 베어링 분해 및 조립 시 검사항목은 [그림11]과 같으며, 모든 측정값은 기준치 이내로 관리되고 있었다.



롤러 표면 육안 검사



롤러 표면 현미경 검사



유간 및 내륜 측정기



차축 베어링 내륜 측정

[그림10] 차량정비단의 차축 베어링 분해검사 장면

3L (절손)	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">조립: 2017년 4월 29일</td> <td colspan="2">취부: 2017년 4월 29일</td> </tr> <tr> <td>베어링 내경</td> <td>D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.</td> <td>제어 년월 외경</td> <td>D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.</td> </tr> <tr> <td>베어링 유간</td> <td>D 0.25~0.50 0.36 E 0.35~0.60</td> <td>암입 분수 위수</td> <td>규정(50±5분): 50 분 A B 4698</td> </tr> <tr> <td colspan="2">그리이스 주입량 340g</td> <td colspan="2">속번호 A. P71122 B. 4968</td> </tr> <tr> <td colspan="2">오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)</td> <td colspan="2">PDA입력: 4월 28일 4968</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC</td> <td>차호 위수</td> <td>차호: 976243 2위수(1위)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">세척(○) 신품()</td> <td colspan="2">베어링 번호: 6870</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 년/월: 9808</td> <td colspan="2">작업 자</td> </tr> <tr> <td colspan="2">일련번호: 303988</td> <td colspan="2">후기</td> </tr> </table>	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)				조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일		베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.	베어링 유간	D 0.25~0.50 0.36 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B 4698	그리이스 주입량 340g		속번호 A. P71122 B. 4968		오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일 4968		베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 2위수(1위)	세척(○) 신품()		베어링 번호: 6870		베어링 년/월: 9808		작업 자		일련번호: 303988		후기		3R (탈선)	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">조립: 2017년 4월 29일</td> <td colspan="2">취부: 2017년 4월 29일</td> </tr> <tr> <td>베어링 내경</td> <td>D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.</td> <td>제어 년월 외경</td> <td>D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.</td> </tr> <tr> <td>베어링 유간</td> <td>D 0.25~0.50 0.28 E 0.35~0.60</td> <td>암입 분수 위수</td> <td>규정(50±5분): 50 분 A B 4698</td> </tr> <tr> <td colspan="2">그리이스 주입량 340g</td> <td colspan="2">속번호 A. 9772 B. 4968</td> </tr> <tr> <td colspan="2">오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)</td> <td colspan="2">PDA입력: 4월 28일 4968</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC</td> <td>차호 위수</td> <td>차호: 976243 2위수(2위)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">세척(○) 신품()</td> <td colspan="2">베어링 번호: 6871</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 년/월: 9808</td> <td colspan="2">작업 자</td> </tr> <tr> <td colspan="2">일련번호: 302518</td> <td colspan="2">후기</td> </tr> </table>	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)				조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일		베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.	베어링 유간	D 0.25~0.50 0.28 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B 4698	그리이스 주입량 340g		속번호 A. 9772 B. 4968		오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일 4968		베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 2위수(2위)	세척(○) 신품()		베어링 번호: 6871		베어링 년/월: 9808		작업 자		일련번호: 302518		후기	
	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)																																																																																		
조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일																																																																																	
베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.																																																																																
베어링 유간	D 0.25~0.50 0.36 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B 4698																																																																																
그리이스 주입량 340g		속번호 A. P71122 B. 4968																																																																																	
오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일 4968																																																																																	
베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 2위수(1위)																																																																																
세척(○) 신품()		베어링 번호: 6870																																																																																	
베어링 년/월: 9808		작업 자																																																																																	
일련번호: 303988		후기																																																																																	
베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)																																																																																			
조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일																																																																																	
베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.																																																																																
베어링 유간	D 0.25~0.50 0.28 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B 4698																																																																																
그리이스 주입량 340g		속번호 A. 9772 B. 4968																																																																																	
오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일 4968																																																																																	
베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 2위수(2위)																																																																																
세척(○) 신품()		베어링 번호: 6871																																																																																	
베어링 년/월: 9808		작업 자																																																																																	
일련번호: 302518		후기																																																																																	
4L (탈선)	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">조립: 2017년 4월 29일</td> <td colspan="2">취부: 2017년 4월 29일</td> </tr> <tr> <td>베어링 내경</td> <td>D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.</td> <td>제어 년월 외경</td> <td>D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.</td> </tr> <tr> <td>베어링 유간</td> <td>D 0.25~0.50 0.30 E 0.35~0.60</td> <td>암입 분수 위수</td> <td>규정(50±5분): 50 분 A B</td> </tr> <tr> <td colspan="2">그리이스 주입량 340g</td> <td colspan="2">속번호 A. 0201 B. 4971</td> </tr> <tr> <td colspan="2">오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)</td> <td colspan="2">PDA입력: 4월 28일</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC</td> <td>차호 위수</td> <td>차호: 976243 1위수(1위)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">세척(○) 신품()</td> <td colspan="2">베어링 번호: 6868</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 년/월: 9808</td> <td colspan="2">작업 자</td> </tr> <tr> <td colspan="2">일련번호: 302272</td> <td colspan="2">후기</td> </tr> </table>	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)				조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일		베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.	베어링 유간	D 0.25~0.50 0.30 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B	그리이스 주입량 340g		속번호 A. 0201 B. 4971		오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일		베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 1위수(1위)	세척(○) 신품()		베어링 번호: 6868		베어링 년/월: 9808		작업 자		일련번호: 302272		후기		4R (탈선)	<table border="1"> <tr> <th colspan="4">베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)</th> </tr> <tr> <td colspan="2">조립: 2017년 4월 29일</td> <td colspan="2">취부: 2017년 4월 29일</td> </tr> <tr> <td>베어링 내경</td> <td>D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.</td> <td>제어 년월 외경</td> <td>D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.</td> </tr> <tr> <td>베어링 유간</td> <td>D 0.25~0.50 0.35 E 0.35~0.60</td> <td>암입 분수 위수</td> <td>규정(50±5분): 50 분 A B</td> </tr> <tr> <td colspan="2">그리이스 주입량 340g</td> <td colspan="2">속번호 A. 0201 B. 4971</td> </tr> <tr> <td colspan="2">오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)</td> <td colspan="2">PDA입력: 4월 28일</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC</td> <td>차호 위수</td> <td>차호: 976243 1위수(2위)</td> </tr> <tr> <td colspan="2">세척(○) 신품()</td> <td colspan="2">베어링 번호: 6869</td> </tr> <tr> <td colspan="2">베어링 년/월: 9808</td> <td colspan="2">작업 자</td> </tr> <tr> <td colspan="2">일련번호: 302272</td> <td colspan="2">후기</td> </tr> </table>	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)				조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일		베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.	베어링 유간	D 0.25~0.50 0.35 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B	그리이스 주입량 340g		속번호 A. 0201 B. 4971		오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일		베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 1위수(2위)	세척(○) 신품()		베어링 번호: 6869		베어링 년/월: 9808		작업 자		일련번호: 302272		후기	
	베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)																																																																																		
조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일																																																																																	
베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.																																																																																
베어링 유간	D 0.25~0.50 0.30 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B																																																																																
그리이스 주입량 340g		속번호 A. 0201 B. 4971																																																																																	
오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일																																																																																	
베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 1위수(1위)																																																																																
세척(○) 신품()		베어링 번호: 6868																																																																																	
베어링 년/월: 9808		작업 자																																																																																	
일련번호: 302272		후기																																																																																	
베어링 작업 이력 표분해사유(8년) 원교환. 결림, E측)																																																																																			
조립: 2017년 4월 29일		취부: 2017년 4월 29일																																																																																	
베어링 내경	D 131.75~80 131. 18 E 144.45~49 144.	제어 년월 외경	D 131.84~86 131. 85 E 144.54~56 144.																																																																																
베어링 유간	D 0.25~0.50 0.35 E 0.35~0.60	암입 분수 위수	규정(50±5분): 50 분 A B																																																																																
그리이스 주입량 340g		속번호 A. 0201 B. 4971																																																																																	
오일셀 비점측식: (TK) SKF, E측(TK)		PDA입력: 4월 28일																																																																																	
베어링 제작사: TK, E측(TK) (KY) SKF, FAG, BRC		차호 위수	차호: 976243 1위수(2위)																																																																																
세척(○) 신품()		베어링 번호: 6869																																																																																	
베어링 년/월: 9808		작업 자																																																																																	
일련번호: 302272		후기																																																																																	

[그림 11] 차축 베어링 분해검사 및 조립 후 검사기준치 및 측정치

1.7 신호 및 전차선 정보

1.7.1 신호정보

사고구간의 신호설비는 전자연동장치, 단선자동폐색, AF 궤도회로, ATS-S 방식으로 구성되어 있다.

전자연동장치의 기록에는 [그림12] ①②③④와 같이 사고열차가 봉성역 상장내 신호기를 진입하여 봉성역 하1선(3번선)을 통과한 후 사고지점에 정차할 때까지 신호와 진로는 양호한 상태였으며,

사고열차가 310T 구간에서 탈선한 이후 운영을 계속하면서 탈선된 바퀴에 의해 레일본드선 12조, 임피던스 본드 잠바선 3개소를 훼손하는 피해가 있었다.



① 사고열차 봉성역 상장내 진입
2019. 3. 14. 18:24:10



② 사고열차 봉성역 상출발 진출
2019. 3. 14. 18:24:54



③ 사고열차 봉성역 하장내 통과
2019. 3. 14. 18:25:34



④ 사고열차 봉성~봉화역 탈선후 310T정차
2019. 3. 14. 18:37:55

[그림12] 봉성역-봉화역간 사고열차 운행 전자연동장치 기록상황

1.7.2 전차선 정보

사고구간인 영동선은 단권변압기 방식으로 전차선에 25kV 전기를 공급하여 전기기관차를 운영하고 있지만, 전차선의 전기공급이 이번 사고에 영향을 주지 않았다.

1.8 기상정보

기상청 자료에 따르면 사고당시 봉화군의 날씨는 맑았고, 기온은 2.4℃, 습도는 47%인 것으로 나타났다.

2. 분석

2.1 업무 수행사항

2.1.1 사고열차 기관사

사고열차 기관사는 음주 등 승무적합성 검사에 대하여 위반사항은 없었고, 사고열차 운행 시 운행기록 분석 결과도 제한속도를 초과하지 않았으며, 열차에 충격을 줄 만한 기기 취급은 없는 등 적절한 승무업무를 수행하였다.

2.1.2 사고열차 보조기관사

사고열차 보조기관사는 사고열차 기관사의 요청으로 주행 중인 열차에서 후부 감시를 하였으나 탈선사실을 확인하지 못했고, 사고열차 기관사가 열차를 정차시킨 후 후부 확인을 지시하여 열차 뒷쪽으로 가서 현장점검 중 탈선 사실을 알게 되어 사고열차 기관사에 보고하였다.

2.1.3 열차감시의 적정성

사고열차 무전기 녹취록을 확인한 결과 18:34경부터 3회에 걸쳐 기관사가 봉화역을 호출하여 '차량의 주행부 이상, 완해 불량차 발생으로 봉화역에 정차 조치'를 요청하였으며 봉화역과 통화 전 내용은 잡음이 심해 통화 내용을 확인할 수 없었다.

사고열차가 석포역 출발 후 탈선되어 정차할 때까지 역사 CCTV 녹화영상을 확인한 결과 봉성역 통과 중 차량 하부에서 최초로 불꽃이 발생하는 것을 확인하여 탈선화차의 차축 베어링 발열에 의한 불꽃은 춘양역(영기 37.9km)과 봉성역(영기 25.7km) 사이에서 발생된 것으로 조사되었다.

또한 열차의 감시업무에 대하여 한국철도공사 「운전취급규정」(개정2018. 5. 8.) 37조와 제37조의 2에서 [표8]과 같이 규정하고 있다.

<p>제37조(열차의 감시) ① 열차가 정거장에 도착·출발 또는 통과할 때와 운행 중인 열차의 감시는 다음 각 호에 따른다.</p> <p>1. 기관사</p> <p>가. 견인력 저하 등 차량이상을 감지한 경우 열차상태를 확인 후 운행할 것</p> <p>나. 열차교행, 역 출발 또는 통과 시 무선전화기 수신에 주의할 것</p> <p>다. 동력차 2인 승무열차의 기관사(또는 부기관사)는 운행 중 각 정거장간 1회 이상 뒤를 감시하여 열차의 이상 유무를 확인하여야 하며, 열차가 정거장을 출발하거나 통과할 경우 때때로 뒤를 감시하여 열차의 상태와 역장 또는 열차승무원의 동작에 주의할 것</p> <p>라. 동력차 1인 승무열차는 뒤감시 생략</p>					
<p>제37조의2(영상감시설비에 의한 열차의 감시) ① 열차감시 지정역의 역장은 조작반 취급, 열차무선교신 등 운전취급에 지장 없는 범위에서 영상감시장비를 활용하여 열차가 정거장에 진입 또는 진출할 때 주행장치 등의 이상 유무를 감시하여야 한다. 다만, 고정편성 여객열차 및 동력차만으로 조성한 열차는 감시를 생략할 수 있다.</p> <p>② 영상감시설비에 의한 열차감시 지정역은 별표 26과 같다.</p>					
<p>영상감시설비에 의한 열차감시 지정역(제37조의2 [별표 26] 관련)</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;">선 명</td> <td style="width: 50%;">대상역</td> </tr> <tr> <td>영동선</td> <td>동백산, 동해</td> </tr> </table>		선 명	대상역	영동선	동백산, 동해
선 명	대상역				
영동선	동백산, 동해				

[표8] 열차감시 관련 한국철도공사 「운전취급규정」 발췌

사고구간의 영상감시설비에 의한 열차의 감시는 [표8]의 [별표 26]과 같이 지정되어 있으나 사고열차 운행구간인 석포역부터 봉화역까지는 지정된 역이 없어 열차감시가 이루어지지 않는 것으로 조사되었다.

그리고 사고열차 기관차에는 CCTV가 설치되어 있지 않았으며 기관사 문답 결과 사고 발생 전 열차 후부에서 먼지가 나는 것을 확인하고 열차를 정차시켜 후부를 확인한 업무는 적정한 것으로 조사되었다.

2.2 차축 베어링 분해 검사

차축베어링이 차축 절손에 영향을 주었는지를 알아보기 위하여 탈선화차에 설치된 총 8개의 차축 베어링 중 절단된 세 번째 왼쪽 차축(3L)에 설치되었던 차축 베어링은 [그림13]와 같이 심하게 파손되어 사고 원인을 밝힐 만한 단서를 찾을 수 없었다. 그러나 세 번째 왼쪽 차축 베어링과 거의 유사

한 하중이력을 가졌다고 판단되는 세 번째 오른쪽 차축 베어링(3R), 동일한 뒷 대차에 있던 차축 베어링 (4L, 4R) 및 동일 화차의 앞 대차에 설치되어 있던 차축 베어링(1L, 1R, 2L, 2R)을 검사하여 간접적으로 사고의 원인을 추정하였다.



[그림13] 사고 현장에서 수거한 차축 베어링 잔해 및 엔드캡

검사 결과 [그림14]과 같이 대부분의 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에서 일직선 불량 및 충격흡 등 결함이 발견되었다. 차축 베어링이 파손된(3L) 탈선한 뒷 대차의 나머지 세 개 차축 베어링(3R, 4L, 4R)에서 발견한 결함은 탈선 충격의 영향을 받았을 수 있지만, 탈선하지 않은 앞 대차의 네 개 차축 베어링(1L, 1R, 2L, 2R)에서도 결함이 발견된 것으로 보아 탈선화차의 차축 베어링은 사고 이전부터 결함이 있는 상태로 운행된 것으로 판단된다. 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에서 발견된 일직선 불량이나 충격흡 등 결함은 과적 또는 편적한 상태로 운행할 때, 열차편성 시 충격 또는 고정핀을 풀지 않고 크레인으로 화차에서 컨테이너를 들어 올렸다 화차가 떨어질 때 발생할 가능성이 있는 것으로 확인되었다.

또한 화차가 특성이 각각 다른 선로를 운행하거나 작업하는 것을 고려하지 않고 한국철도공사 「객화차유지보수기준(내규 35호)」에서 차축 베어링의 분해검사 주기는 주행거리 80만km 또는 회기한도 8년으로, 교환 주기는 주행키로 320만km로 동일하게 정하여 검사, 교환하는 것은 차축 베어링 결함

으로 발생할 수 있는 탈선사고를 예방하기 적절하지 못하므로 운행환경· 작업환경에 따라 그 주기에 차이를 두어 관리할 수 있도록 「객화차유지보수기준」을 개정할 필요가 있을 것으로 판단된다.



1L : 외륜의 충격흔



1L : 롤러의 일직선 불량



1R : 외륜의 충격흔



1R : 롤러의 일직선 불량



2L : 외륜의 충격흔 및 일직선 불량



2L : 롤러의 일직선 불량



2R : 외륜의 충격흔 및 과열 흔적



2R : 롤러의 일직선 불량



3R : 외륜의 충격흔



3R : 롤러의 일직선 불량 및 표면 결함



4L : 외륜의 표면 손상



4L : 롤러의 표면 손상



4R : 외륜의 충격흔



4R : 롤러의 일직선 불량

[그림14] 차축 베어링 표면 검사 결과

2.3 컨테이너 상하차 작업

화차에 컨테이너를 싣고 내리는 작업을 조사한 결과 컨테이너 고정핀을 완전히 풀지 않고 컨테이너를 들어 올리거나 고정핀을 풀었다 하더라도 컨테이너가 수직 방향으로 들어 올려지지 않으면 컨테이너가 고정핀에서 원활하게 빠지지 못하고 화차가 함께 들어 올려지다 떨어지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러 사이에 충격이 발생하여 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에 일직선불량, 충격흔 등의 결함이 생기는 것으로 조사되었다.([그림15])



컨테이너 상하차 작업



고정핀



잠긴 상태



풀린 상태

[그림15] 컨테이너 상하차 작업과 고정핀

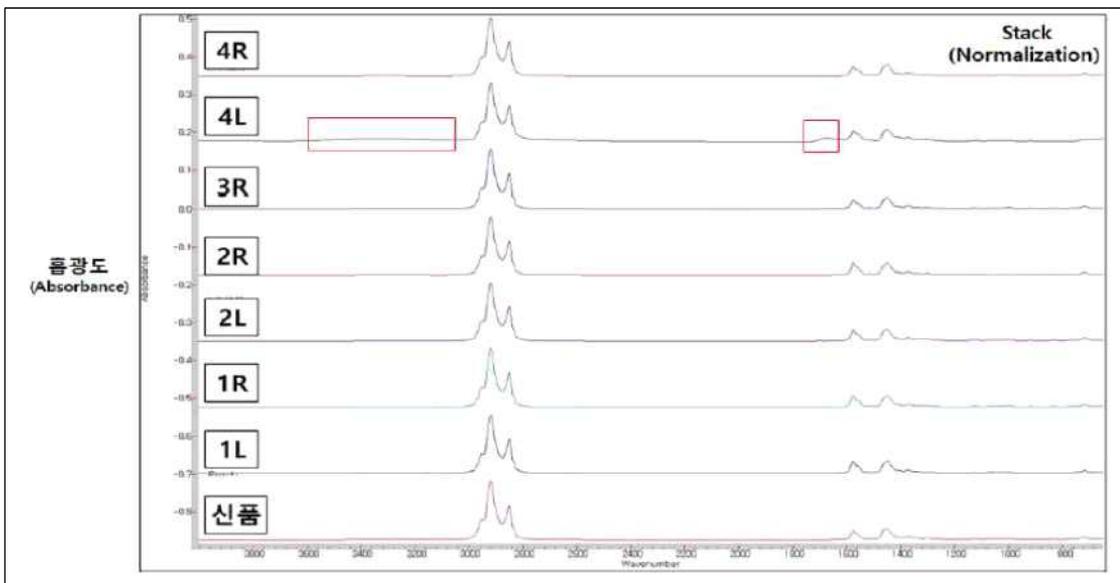
2.4 그리스 성분

사고당시에 파손된 차축 베어링 이외의 차량에 남아 있는 차축 베어링에서 그리스를 채취하여 분석함으로써 탈선화차의 차축에 베어링을 설치할 당시 또는 운행 중에 이물질이 유입되었는지 여부를 간접적으로 확인하였다.([그림16])



[그림16] 탈선 화차의 차축 베어링에서 채취한 그리스

신품 그리스와 파손된 차축 베어링에서 채취한 7종(1L, 1R, 2L, 2R, 3R, 4L, 4R) 그리스 시료의 구조분석을 위해 적외선 분광기를 사용하였다. 구조 분석의 결과 [그림17]와 같이 적외선 분광기 스펙트럼의 주요 피크가 일치하기 때문에 신품과 차축 베어링에서 채취한 그리스는 동일 제품일 것으로 분석된다. 4L시료에서는 수분이 검출되었으므로 피크의 차이가 발생(그림 상의 붉은 사각형 위치, $1600, 3400\text{cm}^{-1}$)하였다.



[그림17] 적외선 분광기 구조 분석 결과

차축 베어링 마모에 의해 그리스에 철(Fe)성분이 섞여 있는지를 확인하기 위해 유도결합 플라즈마 분광기를 사용하였다. 신품 그리스와 차축 베어링에서 채취한 그리스의 성분을 분석하여 비교하였고, 그 결과는 [표9]와 같다.

유도결합 플라즈마 분광기의 성분분석 결과, 신품에서는 철 성분이 검출되지 않았으나 나머지 7종에서는 모두 철 성분이 검출되었다. 이는 탈선 충격이나 차축 베어링에 결합이 있는 상태에서 차량이 주행하여 차축 베어링 구성 부품들이 마모되어 그리스에 철 성분이 섞인 것으로 추정된다.

	Ag	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg
신품	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
1L	0.0080	불검출	0.0037	불검출						
1R	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.0014	불검출
2L	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	0.0012	불검출

	Ag	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Mg
2R	불검출	0.0025	불검출							
3R	불검출	0.0018	불검출							
4L	불검출	0.0031	불검출							
4R	불검출	0.0042	불검출							

[표9] 그리스 성분 분석 결과 (단위: wt%)

그리스에 함유된 수분을 분석하기 위해 수분함량 측정기를 사용하였다. 신품 그리스와 차축 베어링에서 채취한 그리스의 수분을 분석하여 비교하였고, 그 결과는 [표10]와 같이 4L 시료를 제외하고 신품 및 차축 베어링에서 채취한 그리스에서는 수분이 0.1% 이내로 검출되었다. 4L 시료는 0.89%로 상대적으로 수분함량이 많은 것으로 확인되었다.

	신품	1L	1R	2L	2R	3R	4L	4R
시료 사진								
측정 결과	0.09	0.07	0.06	0.08	0.05	0.06	0.89	0.07

[표10] 수분 함량 측정 결과 (단위: wt%)

2.5 종합 분석

탈선화차는 컨테이너를 운반하는 화차로서 차축 베어링 분해 검사 결과 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에서 일직선 불량 및 충격흡 등 결함이 발견되었으며, 차축 베어링 분해 검사 주기도 운행 및 작업환경 등을 고려하지 않고 동일(주행키로 80만km, 회기한도 8년)하게 정해져 있었다. 또한, 화차에 컨테이너를 싣고 내리는 작업을 조사한 결과 컨테이너 고정핀을 완전히 풀지 않고 화차에서 컨테이너를 들어 올리거나 고정핀을 풀었다 하더라도 컨테이너가 수직 방향으로 들어 올려지지 않으면 컨테이너가 고정핀에서 원활하게 빠지지 못하고 화차가 함께 들어 올려지다 떨어지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러 사이에 충격이 발생하여 결함이 생긴 것으로 판단된다.

차축 베어링에 결함이 있는 상태로 주행하다 춘양역에서 봉성역까지 통과 중 탈선화차의 차축 베어링 발열에 의한 불꽃이 발생하였으나 봉화역 로컬 관제원은 열차감시역으로 지정되어 있지 않아 이를 발견하지 못하였다.

탈선화차는 사고 현장 근처에서 외륜이 파손되었고, 롤러가 차축 베어링 내의 정상 위치로부터 이탈되었으며, 이로 인해 차축 베어링이 과열되며 차축이 절손되어 봉성역과 봉화역 사이에서 사고열차의 진행 방향 좌측으로 탈선되었다.

3. 결론

3.1 조사 결과

- 3.1.1 사고열차는 2인 승무열차로 기관사는 운전취급규정 제37조(열차의 감시) 제1항에 따라 열차운행 도중 열차 뒷부분에서 먼지가 나는 것을 확인하고 열차를 정차시켜 후부를 확인한 것은 열차의 감시를 적절하게 수행한 것으로 조사되었다.
- 3.1.2 사고열차가 석포역 출발 후 탈선되어 정차할 때까지 역사 CCTV 녹화 영상을 확인한 결과 봉성역 통과 중 차량 하부에서 최초로 불꽃이 발생되는 것이 확인되어 탈선화차의 차축 베어링 발열에 의한 불꽃은 춘양역과 봉성역 사이에서 발생된 것으로 조사되었고, 춘양역~봉성역 사이에 있던 법전역에는 CCTV가 설치되어 있지 않아 정확한 위치를 확인할 수 없었다.
- 3.1.3 운전취급규정 제37조의2 제②항 영상감시 설비에 의한 열차감시 지정역을 정하고 있으나 석포역부터 봉화역까지 열차운행 구간에 열차감시지정역이 없어 열차감시를 할 수 없었던 것으로 조사되었다.
- 3.1.4 탈선화차 뒷 대차의 엔드캡에 차축 베어링 과열 확인을 위해 붙여 놓은 70도 온도 테이프는 탈락되었거나 변색이 없어 개선이 필요할 것으로 조사되었다.
- 3.1.5 한국철도공사 「객화차유지보수기준(내규 35호)」에서 차축 베어링의 분해검사 주기는 주행거리 80만km 또는 회기한도 8년으로, 교환주기는 주행키로 320만km로 동일하게 정하여 검사, 교환하는 것은 차축 베어링 결함으로 발생할 수 있는 탈선사고를 예방하기에는 적절하지 못하므로 운행환경·작업환경에 따라 차이를 두어 관리할 수 있도록 「객화차유지보수기준」을 개정할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- 3.1.6 탈선화차에 설치 되어 있던 차축 베어링 분해검사 결과 대부분의 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에서 일직선 불량 및 충격흡 등 결함이 발견되었다. 차축 베어링이 파손되고 탈선한 뒷 대차의 나머지 세 개 차축 베어링에서 발견한 결함은 탈선 충격의 영향을 받았을 수 있지만, 탈선하지 않은 앞 대차의 네 개 차축 베어링에서도 결함이 발견된 것으로 보아 탈선화차의 차축 베어링은 사고 이전부터 결함이 있는 상태로 운행한 것이 탈선의 원인이 된 것으로 판단된다.
- 3.1.7 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에서 발견된 일직선 불량이나 충격흡 등의 결함은 과적 또는 편적한 상태로 운행하거나, 화차에 컨테이너를 싣고 내리는 작업을 할 때 화차에서 컨테이너 고정핀을 완전히 풀지 않고 컨테이너를 들어 올리거나 고정핀을 풀었다 하더라도 컨테이너가 수직 방향으로 들어 올려지지 않으면 컨테이너가 고정핀에서 원활하게 빠지지 못하고 화차가 함께 들어 올려지다 떨어지는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 경우에 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러 사이에 충격이 발생하여 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에 결함이 생길 수 있을 것으로 조사되었다.
- 3.1.8 적외선 분광기를 이용하여 그리스 구조 분석을 수행한 결과 신품과 탈선화차 차축 베어링에서 채취한 그리스는 동일 제품일 것으로 분석되었다.
- 3.1.9 유도결합 플라즈마 분광기의 그리스 성분 분석 결과, 신품에서는 철 성분이 검출되지 않았으나 나머지 7종에서는 모두 철 성분이 검출되었다. 이는 탈선 충격이나 차축 베어링에 결함이 있는 상태에서 차량이 주행하여 차축 베어링 구성부품들이 마모되어 그리스에 철 성분이 섞인 것으로 분석되었다.
- 3.1.10 그리스 수분함량 측정 결과 4L 시료를 제외하고 신품 및 차축 베어링에서 채취한 그리스에서는 수분이 0.1% 이내로 검출되었다. 4L 시료는 0.89%로 상대적으로 수분함량이 많은 것으로 확인되었다.

3.1.11 사고구간의 선로상태 확인을 위한 궤도검측차는 분기 1회, 선로점검차는 월 1회, 도보순회 점검은 주 1회 병행 시행하였고, 장비 및 인력에 의한 점검 결과에서 탈선에 영향을 줄 수 있는 특이사항은 없었다.

3.1.12 사고열차는 봉성역을 통과하여 봉화역 쪽으로 운행하면서 사고지점에 정차할 때까지 신호와 진로는 모두 양호한 상태였다.

3.2 사고 원인

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 주원인을 ‘차축에 설치되어 있는 차축 베어링 외륜의 내면과 롤러에 결함이 있는 상태에서 운행 도중 차축 베어링이 파손되면서 차축이 절손되어 탈선한 것’으로 결정하였다.

기여요인으로는 ‘화차에 컨테이너를 싣고 내릴 때 차축 베어링에 충격이 가해진 것, 차축 베어링의 분해검수 주기와 교환 주기가 화차에 적재되는 화물의 종류, 적재방법 및 사용환경의 차이에도 불구하고 동일하게 규정하여 관리한 것’으로 결정하였다.

4. 안전 권고

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제26조에 따라 2019년 3월 14일 영동선 봉성역~봉화역 사이에서 발생한 화물열차 탈선 사고에 대하여 다음과 같이 권고한다.

4.1 한국철도공사에 대하여

4.1.1 화차 차축 베어링의 분해검수 주기와 교환 주기를 화차에 적재되는 화물의 종류, 적재방법 및 사용환경에 따라 차이를 두어 유지보수에 적용할 수 있도록 연구용역 등을 통하여 차축 베어링의 분해검수 주기와 교환 주기를 단축할 수 있도록 「객화차 유지보수 기준」을 개정할 것

4.1.2 컨테이너를 화차에서 들어 올릴 때 화차가 함께 들어 올려지다 떨어지지 않도록 작업 절차를 개선하고 이를 감시할 수 있는 시스템을 갖출 것

4.1.3 화차의 발열 여부를 발견하기 위해 차축에 부착한 온도 테이프는 효과가 없는 것으로 밝혀진 바, 이를 대체할 방법을 수립하고 시행할 것

4.1.4 역근무자가 열차 감시 업무를 적정하게 수행할 수 있도록 열차 감시용 영상 감시 설비의 확대 설치 등 방안을 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 철도 용어를 쉽게 풀어서 쓴 점을 양해하여 주시기 바랍니다.

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.

항공·철도사고조사위원회

<http://www.araib.go.kr>

전화: 044-201-5443

E-mail: mrlee56@korea.kr