

# 철도사고조사보고서

한국철도공사

경부선(하1선)

오산~송탄역 간(송탄역 진입 전 48m 지점)

제3203호 화물열차(DL7504+벌크화차 21량, 환산 10.6량)

열차탈선사고

2013년 12월 30일(월), 17시 50분경



2014. 9. 30.



항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제2조에 따라 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, 행정처분절차 또는 행정쟁송절차와 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 례

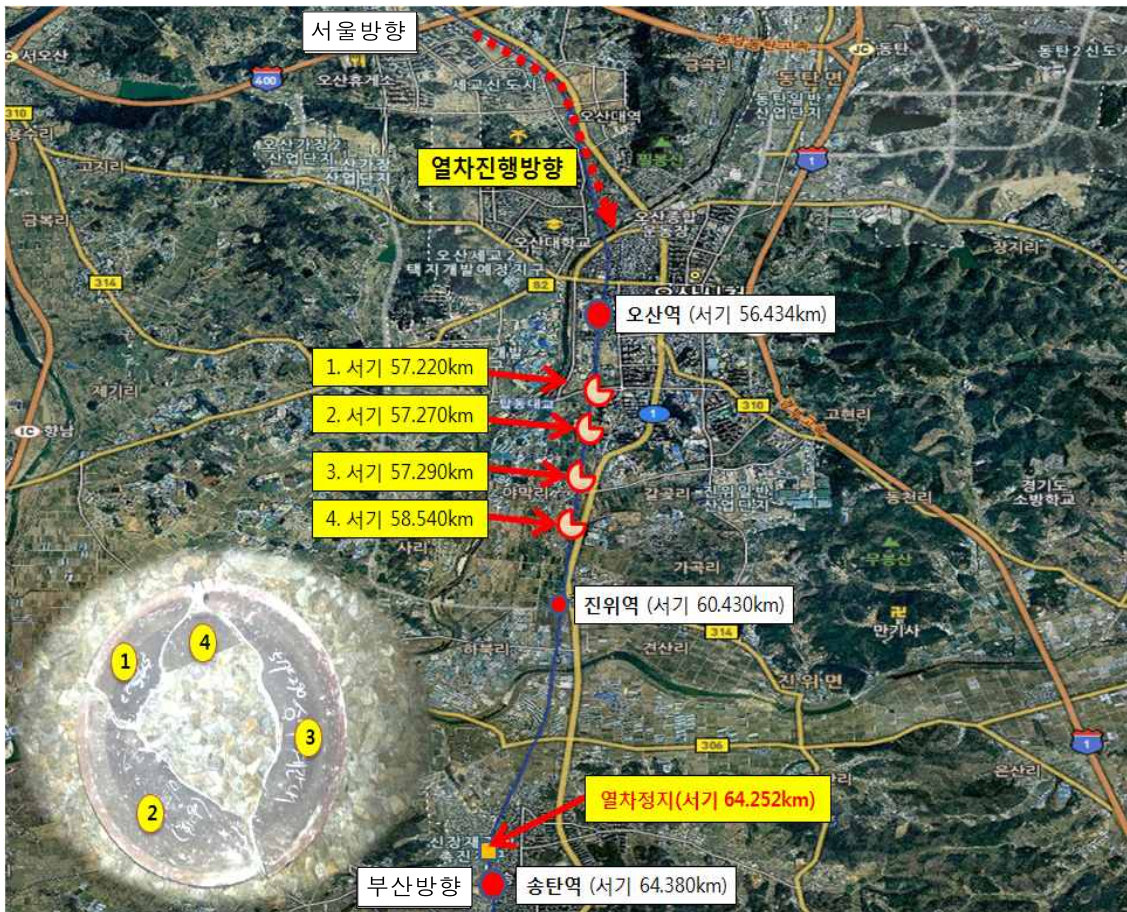
제목 .....	1
개요 .....	2
<b>1. 사실정보 .....</b>	<b>4</b>
1.1 사고경위 .....	4
1.2 피해사항 .....	5
1.2.1 인명피해 .....	5
1.2.2 물적피해 .....	5
1.2.3 기타피해 .....	5
1.3 인적정보 .....	6
1.3.1 기관사 .....	6
1.3.2 부기관사 .....	6
1.3.3 철도교통 관제센터 관제사 .....	6
1.3.4 기타 관계인 .....	6
1.4 운전취급관계자 업무수행 .....	7
1.4.1 기관사 .....	7
1.4.2 부기관사 .....	8
1.4.3 기타 관계인 업무수행 .....	9
1.4.3.1 철도교통 관제센터 관제사 .....	9
1.4.3.2 서정리역 로컬관제사 .....	10
1.4.3.3 오산역 로컬관제사 .....	10
1.5 물적정보 .....	10
1.5.1 차량정보 .....	10
1.5.1.1 사고열차 조성현황 .....	11
1.5.1.2 디젤기관차 제원 .....	11

1.5.1.3 사고화차 제원 .....	12
1.5.1.4 사고화차의 차륜상태 .....	12
1.5.1.5 사고화차의 제동장치 .....	13
1.5.1.6 검수기록 .....	14
1.5.2 선로정보 .....	16
1.5.2.1 선로상태 .....	16
1.5.2.2 선로 피해내용 .....	17
1.5.2.3 선로 순회점검 및 보수 내용 .....	17
1.5.2.4 보선장비 보수작업 내용 .....	18
1.5.2.5 궤도틀림 불량개소 보수내용 .....	19
1.5.2.6 사고발생구간 PC침목 점검내용 .....	19
1.5.2.7 궤간 및 캔트 측정결과 .....	20
1.5.3 전기·신호정보 .....	21
1.5.3.1 전기관련 .....	21
1.5.3.2 신호관련 .....	21
1.6 기상정보 .....	22
1.7 사고열차 운행기록 .....	23
1.8 관리정보 .....	24
<b>2. 분석 .....</b>	<b>25</b>
2.1 업무수행사항 분석 .....	25
2.1.1 기관사 .....	25
2.1.2 부기관사 .....	25
2.1.3 기타관계인 .....	26
2.2 차량분석 .....	26
2.2.1 파손차륜의 표면 잔류응력 분석 .....	26
2.2.1.1 잔류응력 측정조건과 측정 위치 .....	26
2.2.1.2 잔류응력 측정 결과 .....	27

2.2.2 사고 차륜의 파단면과 피로분석 .....	28
2.2.2.1 사고 차륜의 파단면 분석 .....	28
2.2.2.2 1번 차륜의 파단면 분석 .....	29
2.2.2.3 2번 차륜의 파단면 분석 .....	30
2.2.2.4 3번 차륜의 파단면 분석 .....	31
2.2.3 사고 차륜의 기계적 성질 분석 .....	33
2.2.3.1 미세조직 분석 .....	33
2.2.3.2 경도 분석 .....	33
2.2.3.3 재질 분석 .....	34
2.2.3.4 1번 차륜조각의 담면 분석 .....	35
2.2.4 차륜 파손에 대한 전체적인 분석결과 .....	35
2.3 열차운행기록 분석 .....	37
2.4 화물적재량 분석 .....	37
2.5 선로분석 .....	38
2.6 전기·신호시스템분석 .....	38
2.7 관리정보 분석 .....	39
<b>3. 결론 .....</b>	<b>40</b>
3.1 조사결과 .....	40
3.2 사고원인 .....	41
<b>4. 안전권고 .....</b>	<b>42</b>
4.1 한국철도공사에 대하여 .....	42

한국철도공사 경부선 오산~송탄역 간 화물열차 탈선사고(2013.12.30.)

- 운영기관: 한국철도공사
- 운행노선: 경부선(하1선)
- 발생장소: 오산~송탄역 간(송탄역 진입 전 48m 지점)
- 사고열차: 제3203호 화물열차(DL7504+벌크화차 21량 편성, 환산 10.6량)
- 사고유형: 열차탈선
- 사고일시: 2013년 12월 30일(월) 17시 50분경



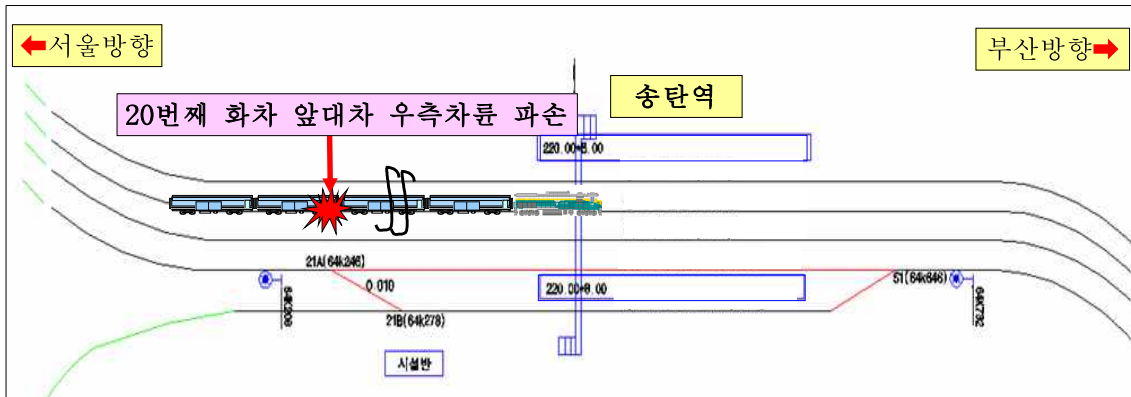
[그림1] 탈선사고 발생 위치



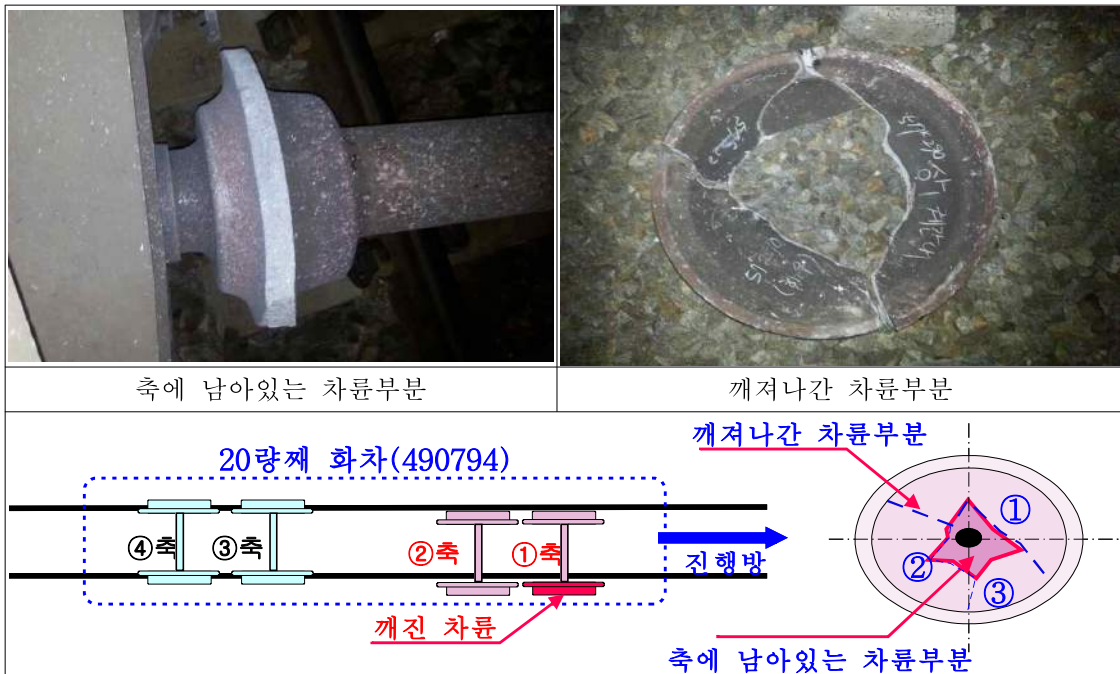
개요

2013년 12월 30일(월), 17시 50분경 한국철도공사의 제3203호 화물열차(오봉역14:22→제천역19:49)가 경부선 오산~송탄역 사이를 운행하던 중,

[그림2] 및 [그림3]과 같이 기관차로부터 20번째 화차의 앞대차 첫번째 차축 오른쪽 차륜 1개가 서울역 기점 57.190km 지점(오산역을 690m 지난 지점)에서 파손되어, 첫번째 차축 왼쪽 차륜이 열차 진행방향 오른쪽으로 탈선되었고, 이 영향으로 두번째 차축 차륜 2개도 오른쪽으로 탈선되었으며, 탈선된 상태로 운행하다가 서울역 기점 64.252km 지점(송탄역 진입 전 48m 지점)에서 정차하였다.



[그림2] 사고현장 노선도



[그림3] 사고화차 및 깨진 차륜 조각

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았으나, 화차의 차륜 1개, 선로시설의 PC침목 3,400여개, ATS<sup>1)</sup> 지상자 7개 및 지상발라스 12개 등이 파손되는 물적피해가 발생하였다.

이번 경부선 오산~송탄역 사이에서 발생한 화물열차 탈선사고의 원인은, 차륜의 박리와 찰상으로 인해 취약해진 차륜부분이 취성과괴 되면서 깨져, 차륜이 궤도를 이탈하여 탈선한 사고이며, 사고화차 검수 시 차륜 검사를 소홀히 하여 차륜에 찰상이 있는 것을 사전에 발견하지 못하여 발생 된 사고이다.

항공·철도사고조사위원회는 사고조사 결과에 따라 한국철도공사에 7건의 안전권고를 발행한다.

---

1) 자동열차정지장치(Automatic Train Stop device)



## 1. 사실정보

### 1.1 사고경위

2013년 12월 30일(월) 한국철도공사의 제3203호 화물열차(DL7504호, 현차 21량, 환산 10.6량, 시멘트화차, 이하 ‘사고열차’라 한다.)는 17시 1분경 오봉역에서 출발하였다.

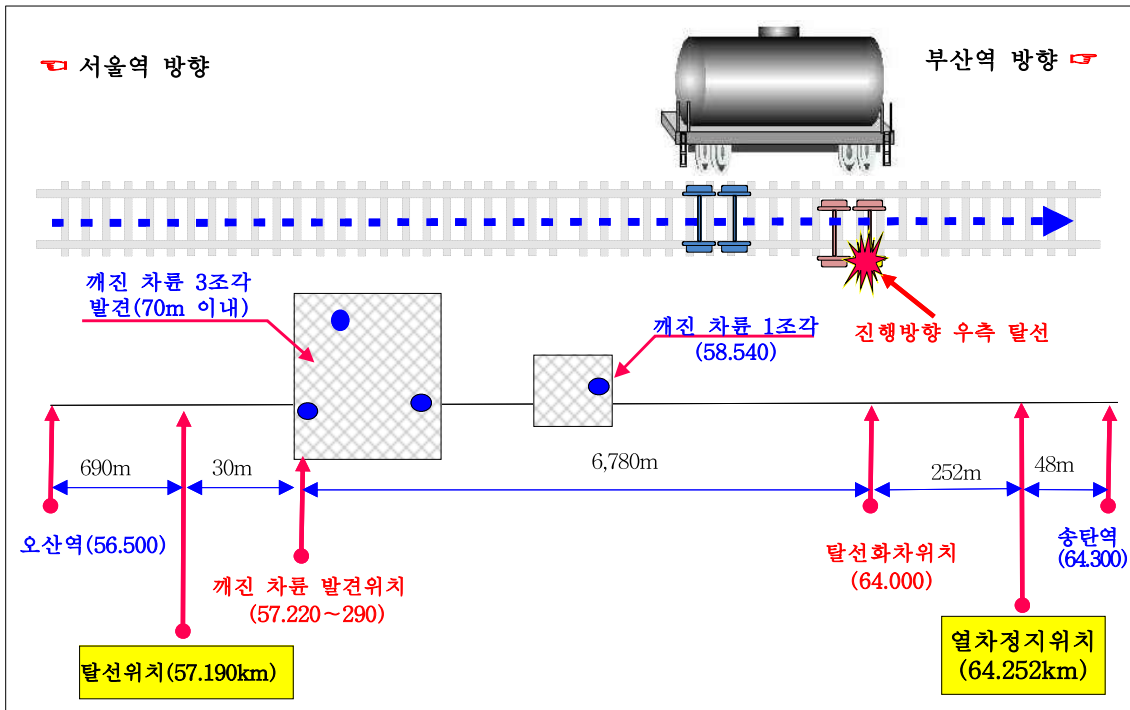
사고열차는 오봉역을 출발하여 약 21km/h 속도에서 제동감도 시험을 실시하였고, 17시 14분경 의왕역 제9번선에서 일시 정차하여 제1305호 무궁화호 열차가 하1선으로 통과한 후, 17시 15분경 하행 출발신호기 진행신호에 따라 출발하였으며,

건널목을 지나 하1선으로 운행되면서 약 52km/h에서 최고 85km/h 속도로 사고지점까지 운행하였다.

사고열차는 17시 30분경 오산역을 통과하고 제52호 선로전환기(서울역 기점 57.180km 지점)를 10m 지난 지점(서울역 기점 57.190km 지점)을 운행할 때, 기관차로부터 20번째 화차(490794호)(이하 ‘사고화차’라 한다.) 앞대차 첫번째 차축 제1위 차륜이 4조각으로 깨지면서 선로우측으로 탈선(17:39경)되었고,

이후 사고열차는 탈선된 상태로 약 6,810m를 더 주행한 후, 17시 46분 50초경 송탄역 진입 전 약 48m 지점(서울역 기점 64.252km 지점)에서 [그림4]와 같이 정차하였다.

사고열차의 차륜조각은 탈선위치에서 약 30m 지난 서울역 기점 57.220km~57.290km에서 3조각, 서울역 기점 58.540km에서 1조각이 발견되었다.



[그림4] 사고열차 최초 탈선지점 및 정지지점

## 1.2 피해사항

### 1.2.1 인명피해

이번 사고열차로 인한 인명피해는 발생하지 않았다.

### 1.2.2 물적피해

이번 사고열차로 인하여 사고화차 차륜 1개가 파손되었고, PC침목 약 3,400정, ATS 지상자 7개 및 지상발라스 12개 등이 파손되어 약 2억5천2백만원의 물적피해가 발생되었다.

### 1.2.3 기타 피해

KTX 등 16개 열차운행이 10~38분 지연되어, 약 2천3백만 원의 열차운임 반환료가 발생되었다.

### 1.3 인적정보

#### 1.3.1 기관사

기관사 ○○○(49세, 남)은 한국철도공사 부곡승무사업소 지도운용팀장으로, 사고 당일 철도공사 직원들의 파업으로 대체기관사로 승무하였고, 철도안전법에 근거한 기관사 면허(디젤 및 제1, 2종 전기차량 운전면허)를 보유하고, 기관사 업무를 수행하였다.

#### 1.3.2 부기관사

부기관사 ○○○(60세, 남)는 (사)한국철도운전기술협회(이하 ‘운전기술협회’라 한다.) 소속으로 철도안전법에 의한 기관사면허(디젤 및 제1, 2종 전기차량 운전면허)를 보유하여 부곡승무사업소에 파견되어 대체 보조기관사 업무를 수행하였다.

#### 1.3.3 철도교통 관제센터 관제사

관제사 ○○○(47세, 남)는 철도교통 관제센터에서 서정리역의 로컬관제 업무를 관리하고 있었고, 사고 발생을 통보 받은 이후부터 사고 수습과 운행정리 등 관제업무를 수행하였다.

#### 1.3.4 기타 관계인

서정리역 로컬관제사 ○○○(37세, 남) 및 오산역 로컬관제사 ○○○(42세, 남)은 사고열차 기관사로부터 사고 사실을 통보받고 관제사의 지시에 따라 관제업무를 수행하였다.

## 1.4 운전취급 관계자 업무수행

### 1.4.1 기관사

기관사는 사고 당일 사무실에서 지도운용팀장 업무를 수행(11:50~15:00)하였고, 승무점호 및 승무적합성 검사를 마치고 부곡차량기지에서 DL7504호를 출고하여 의왕역에서 오봉역까지 운전하였으며, 오봉역에서 제3203호 화물열차(오봉-제천조차장, DL7504호, 현차 21량, 환산 10.6량)를 조성한 후, 17시 01분경 오봉역을 출발하였다.

기관사는 17시 30분경 오산역을 통과하였고, 오산~송탄역간 하1폐색신호기 부근에서 사고열차의 속도가 약간 떨어짐을 느끼고 17시 39분경 스톱트레버(throttle lever)를 상승시켜 속도를 유지하고 운행하였다.

기관사는 17시 45분경 상행(목포→용산)을 운행중이던 제1406호 무궁화호 열차 기관사가 진위역을 통과하면서 서정리역 로컬관제사에게 사고열차 후부에서 연기가 발생하고 있다는 내용의 무전을 청취하였고,

진위 전철역을 지나 좌방향 곡선부(R=1,000m)에서 부기관사에게 후부 확인을 지시한 결과, 사고열차 후부에서 브레이크가 풀리지(완해제동) 않아 연기가 나는 것 같다는 말을 듣고 서정리역 진입 전 약 48m 지점에서 열차를 정차시킨 후, 서정리역 로컬관제사에게 사고열차가 정차한 사실을 통보하였다.

이후 기관사는 오산역 로컬관제사를 호출하여 하1선에 정차하고 있으니, 하1선으로 열차를 운행시키지 말라는 무전통보를 하였으며, 오산역 로컬관제사가 후속 무궁화호 열차에게 하2선으로 운행한다는 무전통보를 청취하였다.

기관사는 부기관사에서 동력차의 감시를 맡기고, 직접 하차하여 사고열차의 화차상태를 점검하면서 후부로 가던 중, 20번째 화차 앞대차 첫번째 차축 진행방향 우측 차륜이 깨져 없는 상태로 좌측차륜이 탈선한 것을 확인하였다.

기관사는 화차가 탈선한 상황을 파악하고 상, 하행선의 열차운행에는 지장이 없는 것으로 판단되어 서정리역 로컬관제사에게 상황을 설명하고, 기중기를 수배하였으며, 다음 열차운행에 지장이 있을 것을 우려하여 열차후부에서 파손된 차륜을 찾고 있는 도중 관제사로부터 온 휴대전화를 받았다.

기관사는 관제사로부터 나머지 19량을 천안역까지 운행하라는 지시를 받았으며, 탈선 현장으로 출동한 서정리역 역무원과 탈선차량을 분리하는 입환협의를 한 후, 기관차에 복귀하여 서정리역 역무원의 무전기 입환번호에 따라 탈선차량과 분리하고, 서정리역 하장내신호기 밖에서 대기하였다.

기관사는 서정리역 로컬관제사로부터 같은 열차번호로 사고 현장에서 부터 천안역까지 운행하라는 운전명령을 지시받고 현장을 19시 3분에 출발하여 서정리역을 통과(19:18)하였으며, 천안역에 19시 42분경 도착하였다.

#### 1.4.2 부기관사

부기관사는 기관사와 같이 부곡차량기지에서 사고열차에 승무하였다.

부기관사는 오봉역에서 사고열차가 출발한 후, 의왕역에서 경부 하1선으로 진입하여 운행하는 동안 환호응답, 열차 후부확인 및 전방을 확인하면서 기관사를 보좌하였으며,

사고열차가 오산역을 통과하여 진위역을 지나가던 중, 제1406호 무궁화호 열차 기관사가 서정리역 로컬관제사에게 사고열차 후부에서 연기가 발생하고 있다는 무전내용을 청취하였고, 진위역을 지나 좌측방향 곡선부(R=1,000m)에서 기관사의 지시에 따라 사고열차 후부를 확인한 결과, 열차후부에서 연기가 나는 것을 확인하고, 브레이크가 풀리지 않은 것 같다고 기관사에게 보고하였다.

부기관사는 기관사가 사고열차를 제2폐색 부근(정차한 후 제2폐색신호기가 30m 전방에 있는 것 확인)에 정차시킨 후, 서정리역에 정차 내용을 알리고,

오산역에는 하1선에 사고차량이 정차하였으니 하2선으로 열차를 취급하라고 통보하는 것을 확인하였다.

부기관사는 기관사로부터 동력차를 감시하라는 지시를 받고 기관사가 열차 후부를 확인하는 동안 기관차를 감시하면서 대기하였으며, 열차 상태를 묻는 관제사의 휴대전화에 후부사항을 잘 인지하지 못해 관제사에게 기관사의 휴대전화 번호를 알려 주었다.

부기관사는 기관사가 기관차로 복귀하여 현장상황을 설명하여 탈선사실을 파악하였고, 사고현장 열차후부에 있는 서정리역 직원의 무전 입환전호에 따라 본 열차와 사고차량을 분리하고 대기하던 중, 서정리역 로컬관제사로 부터 천안역까지 운행하라는 운전명령을 들었다.

#### 1.4.3 기타 관계인 업무수행

##### 1.4.3.1 철도교통 관제센터 관제사

관제사는 사고 당일 관제센터에 출근(09:00)하여 제2권역 제7콘솔(관할구간: 경부선 오산~천안역)에서 관제업무를 수행하였다.

관제사는 서정리역 로컬관제사로부터 사고열차가 탈선되었다는 보고(17:52경)를 받고, 오산역 로컬관제사로부터 하1선으로 열차운행을 중지시키라는 것과 사고차량이 열차운행에 지장이 없다는 보고를 받았다.

관제사는 사고열차 부기관사에게 사고열차 기관사의 휴대전화 번호를 물어 직접 통화하여 현장정보를 파악하였고, 사고차량을 현장에 남겨두고 본 열차의 19량을 천안역으로 운행할 것을 지시하였다.

#### 1.4.3.2 서정리역 로컬관제사

서정리역 로컬관제사는 사고 당일 출근(09:00)하여 로컬관제업무를 수행하였다.

17시 45분경 용산행 제1406호 무궁화호 열차 기관사로부터 사고열차 후부에서 연기가 발생하고 있다는 무전을 통보받고, 사고열차 기관사에게 통보하려 하였으나, 무전 통화가 되지 않았다.

이후 로컬관제사는 17시 52분경 사고열차 기관사로부터 사고열차가 탈선되었다는 무전통보를 받고 사고사실을 인지하였으며, 즉시 철도교통 관제센터 관제사에게 사고사실을 보고하고, 역무원에게 휴대무전기를 지급하여 사고현장으로 출동시켜 현장상황을 파악하였다.

서정리역 로컬관제사는 관제사의 지시에 따라 사고열차 기관사에게 운전명령을 통보하고 사고차량을 현장에 남겨두고 운행이 가능한 차량 19량을 견인하여 천안역까지 운행하도록 조치하였다.

#### 1.4.3.3 오산역 로컬관제사

오산역 로컬관제사는 사고 당일 출근(09:00)하여 로컬관제업무를 수행하였다.

로컬관제사는 17시 52분경 사고열차 기관사로부터 사고열차가 탈선되었다는 무전을 청취하고 사고사실을 인지하였으며, 즉시 철도교통 관제센터 관제사에게 사고가 발생한 사실을 보고하고, 관제사의 지시에 따라 하1선으로 운행을 중지시키고 열차를 하2선으로 운행하도록 조치하였다.

### 1.5 물적정보

#### 1.5.1 차량정보



1.5.1.1 사고열차 조성현황

사고열차의 조성은 디젤기관차(DL7504호) 1량과 시멘트화차 21량으로 조성되었고, 사고화차는 20번째 위치한 화차(490794호)였다.

사고열차의 조성현황은 [표1]과 같다.

연번	차량번호	차종	환산	자중(톤)	적재량(kg)	제한속도(km/h)
견인	7504	디젤전기기관차	-	132		105
1	490691	벌크화차(시멘트)	0.6	22.2	공차	120
2	949964	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
3	949972	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
4	949833	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
5	849757	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
6	849751	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
7	849675	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
8	849151	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
9	848876	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
10	848831	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
11	848791	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
12	848459	벌크화차(시멘트)	0.5	19.3	공차	90
13	848124	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
14	848107	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
15	847531	벌크화차(시멘트)	0.5	19.7	공차	90
16	847325	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
17	839617	벌크화차(시멘트)	0.5	20	공차	90
18	839526	벌크화차(시멘트)	0.5	19.5	공차	90
19	839305	탈선화차(시멘트)	0.5	19.4	공차	90
20	490794	벌크화차(시멘트)	0.5	22(21)	공차	120
21	490917	벌크화차(시멘트)	0.5	22.1	공차	120

[표1] 열차 조성내역

1.5.1.2. 디젤기관차(DL7504) 제원

디젤기관차는 2003년 8월 20일 현대로템(주)에서 제작되어, 2003년 8월 21일 철도청이 도입하였으며, 최고속도 150km/h, 길이 20.8m, 폭 3.27m, 높이 4.25m, 견인마력 약 3,000HP, 중량 132톤이었다.

1.5.1.3 사고화차 제원

사고화차는 한국철도공사 소유이며, 2003년 11월 25일 고려차량에서 도입하였고, 시멘트용 벌크화차로 제작되었으며, 자중 22톤, 하중 52톤, 용적 44톤이며, 차체길이 12.25m, 차체 폭 3.10m, 차륜의 직경 860mm, 설계 제한속도는 120km/h 이다.

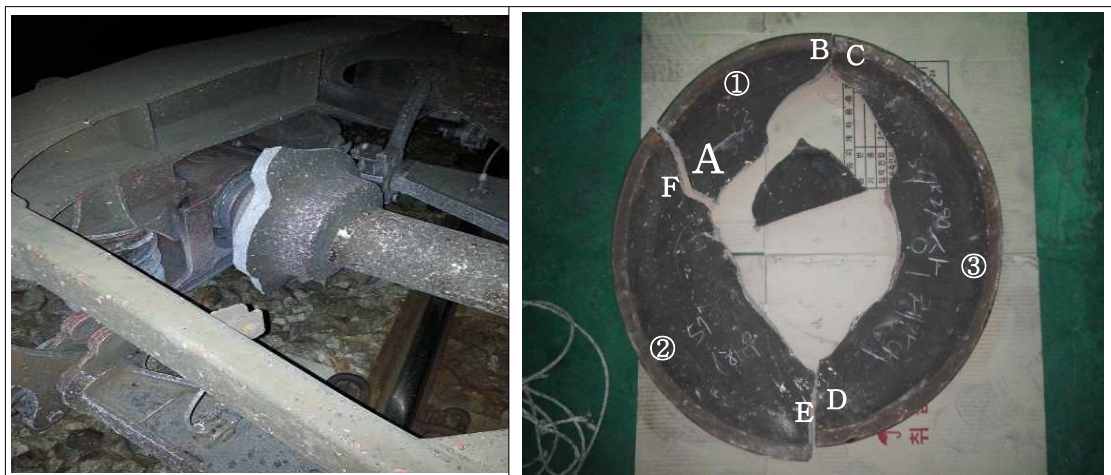
사고화차와 대차는 [그림5]와 같다.



[그림5] 사고화차 및 대차

1.5.1.4 사고화차의 차륜상태

사고 발생 후 사고화차의 차륜상태를 확인한 결과, 사고화차의 차륜은 [그림6] 및 [그림7]과 같이 차축에 차륜 중심부만 남아 있었고, 차륜은 4조각으로 깨져 궤도에서 이탈되어 있었다.



[그림6] 파손 된 차륜상태(앞대차 1번축 오른쪽 차륜)



[그림7] 파손 된 차륜조각 상태

### 1.5.1.5 사고화차의 제동장치

사고화차는 정비기록상 제동장치에는 문제가 없었으며, 사고 이후 2014년 1월 16일 대전철도차량정비단에 입고하여 실제 제동시험을 실시한 결과, [표 2]와 같이 제동장치의 동작에는 문제가 없었다.



사고화차의 제동 시험성적서는 [표2]와 같다.

시 험 성 적 서 (TEST REPORT)					관리장	팀 장	부 장
규 격	철도 2240-2477 ( KRF-3형 막판식 제동장치 / 90km/h)						
SERIAL NO.	DK-01160/DKMT-002-03						
시 험 일 자	2014년 1월 16일						
시 험 자	이력규 490794						
입 회 자	우 민						
번호	시 험 항 목	시 험 규 격	시 험 결 과	비 고			
1	증 가 시 험	CR 증가 시험	45초 이내	39.54초			
		AR 증가 시험	120초 이내	13.40초			
2	감압률 측정 시험	상용만 제동시	제동권 감압률	1.5±0.1kgf/cm <sup>2</sup>	1.49kgf/cm <sup>2</sup>		
3	상 용 제 동 시 험	제동동압력	공 차	2.0±0.1kgf/cm <sup>2</sup>	1.92kgf/cm <sup>2</sup>		
			영 차	3.8±0.1kgf/cm <sup>2</sup>	3.74kgf/cm <sup>2</sup>		
		공 시 주 간	공 차	10초 이내	6.18초		
			영 차	10초 이내	5.91초		
4	비 상 제 동 시 험	제동동압력	공 차	2.0±0.1kgf/cm <sup>2</sup>	1.90kgf/cm <sup>2</sup>		
			영 차	3.8kgf/cm <sup>2</sup> 이상	3.81kgf/cm <sup>2</sup>		
		공 시 주 간	공 차	3초 이내	2.92초		
			영 차	3초 이내	2.99초		
5	간 제 검 사	0.7kgf/cm <sup>2</sup> 를 감압하여 즉시 제동작용을 하여야 한다.		양호할 것.	양 호		
6	완 해 시 험	상 용	공 차	20초 이내	14.01초		
			영 차	20초 이내	15.31초		
		비 상	공 차	25초 이내	11.39초		
			영 차	25초 이내	12.37초		
7	완 해 관 도 시 험	간제 검사 후 안전한 증가 위치에서 완해 시간		60초 이내	19.67초		
8	누 설 시 험	비상 위치에서 1분간 0.1kgf/cm <sup>2</sup> 이내		0.1kgf/cm <sup>2</sup> 이내	양 호		

[표2] 사고화차 제동 시험성적서

1.5.1.6 검수기록

사고화차의 총 주행거리는 288,853km로 대전철도차량정비단에서 중정비2 검사(GI-2)<sup>2)</sup>를 2009년 8월 18일 실시하였으며, 중정비1 검사(GI-1)<sup>3)</sup>를 2011년 3월25일 제천조차장에서 실시하였다. 그리고 경정비 검사(LI-6)<sup>4)</sup>를 2012년 2월 20일, 기본검사(ES)<sup>5)</sup>를 2013년 12월 10일에 제천조차장에서 실시하였다.

2) 중정비2 검사 : 철도차량유지보수지침에 따라 GI-2는 160,000km 주행 또는 48개월 도래 시 실시  
 3) 중정비1 검사 : 철도차량유지보수지침에 따라 GI-1는 80,000km 주행 또는 24개월 운행 후 실시  
 4) 경정비 검사 : 철도차량유지보수지침에 따라 LI-6는 40,000km 주행 또는 12개월 도래 시 실시  
 5) 기본검사 : 철도차량유지보수지침에 따라 1,600km 주행 또는 2주일 도래 시 실시

사고화차의 검수현황은 [표3]과 같다.

구 분	도 입	중정비2 검사	중정비1 검사	기본 검사	삭정작업 실시	경정비 검사	기본 검사
		GI-2	GI-1	ES		LI-6	ES
		160,000km, 48개월	80,000km, 24개월	1,600km, 2주일		40,000km, 12개월	1,600km 2주일
연월일	'03.11.25.	'09.08.18.	'11.03.25.	'11.09.21.	'11.09.22.	'12.02.20.	'13.12.10.
주행거리	-	142,881.4km	191,371.3km	204,528km	204,528km	217,875km	288,315km
제작/ 정비	고려차량	대전철도 차량정비단	제천조차장 차량사업소	서울철도 차량사업소	제천조차장 차량사업소	제천조차장 차량사업소	제천조차장 차량사업소

[표3] 사고화차(490794) 검수 현황

사고화차는 2011년 3월 25일 중정비1 검사 시 차륜 답면상태를 육안으로 확인한 결과 정상이었고, 2011년 9월 21일 서울철도차량사업소에서 실시한 육안점검 시 차륜의 찰상과 박리를 발견하여, 2011년 9월 22일 제천조차장차량사업소에서 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8위 차륜을 삭정하였으며, 삭정 이후 사고발생 시까지 약 83,787km 운행되었다.

사고화차는 차륜 삭정 이후, 2012년 2월 20일 경정비 검수 시(주행거리 217,875.7km) 제천조차장차량사업소에서 차륜의 답면상태 확인 및 각부 측정을 실시하였고, 2013년 12월 30일 사고 발생 일까지 약 70,977.3km 운행되었으며, 2013년 12월 10일 기본검사(ES)시 차륜에 대한 육안검사를 실시하였고, 기본검사 이후 약 537.3km 주행하였다.

[표4]는 사고 발생 후인 2014년 1월 16일에 사고차량의 차륜을 측정된 기록이다.

축 위치 (진행방향기준)	차륜위치	차륜지름 (mm)		Flange 두께 (mm)		Flange 높이 (mm)	
		원형	허용	원형	허용	원형	허용
		860	768	34	23	25	35
1축	우측(L)	파손 차륜		파손 차륜		파손 차륜	
	좌측(R)	796		32		26	
2축	우측(L)	792		28		26	
	좌측(R)	792		28		26	
3축	우측(L)	798		30		26	
	좌측(R)	798		31		26	
4축	우측(L)	796		29		측정불가	
	좌측(R)	796		30		26	

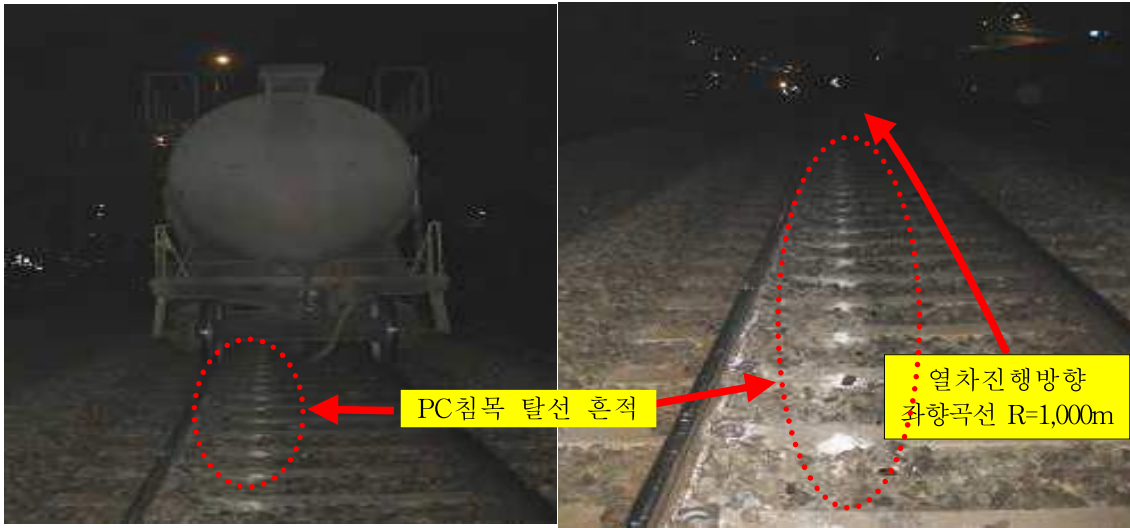
[표4] 사고차량의 차륜 측정표(490794호)

사고화차의 파손된 차륜은 중국의 마강에서 2005년 4월 생산된 제품으로, 한국철도공사에는 2005년 5월경 수입되었고, 사고화차에 장착되어 운행되는 동안 한국철도공사의 「철도차량 유지보수 지침」 제1장 제4조(검수 종류 및 기준)에서 정한 바에 따라 검수를 수행하고 있었다.

### 1.5.2 선로정보

#### 1.5.2.1 선로상태

사고발생구간 선로는 [그림8]과 같이 경부선 하1선으로, 50kg용 장대레일, PC 침목 및 자갈도상으로 되어 있었으며, 곡선반경(좌향) 1,000m, 상구배 8/1,000 조건이었다.



[그림8] 사고구간 선로상태

1.5.2.2 선로 피해내용

사고열차는 [그림9]와 같이 탈선된 이후에도 약 6,780m를 더 운행되어 PC 침목 3,400여개, ATS 지상자 7개 및 지상발라스 12개 등이 파손되었으며, 이로 인해 약 1억8천7백만 원의 물적피해가 발생되었다.



[그림9] 사고구간 선로 피해상태

1.5.2.3 선로 순회점검 및 보수 내용

사고발생구간 선로 순회점검 및 보수는 「선로점검지침」에 따라 한국철도공사 수도권 서부분부 송탄 및 오산시설관리반에서 담당하고 있었고, 선로



순회점검 및 보수 내용은 [표5]와 같다.

작업담당	선로순회 점검구간	시행일	조치사항
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	11.01.	체결장치보수: 이상없음
송탄시설	송탄구내, 경부선 59.2	11.08.	체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	11.18.	체결장치보수: 이상없음
오산시설	세마~진위, 상,하 1,2선: 56.400	11.20.	체결구 체결/분기점검: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	11.22.	경부선 관내 용접부 조사 및 체결장치 보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	11.27.	경부선 PCT파손개소 점검 및 관내 체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.06.	관내 체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.09.	관내 체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하 청원선	12.11.	관내 체결장치보수청원선 점검 및 건널목 오물제거: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.12.	이음매판체결개소 점검: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.13.	이음매판체결개소 점검: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.17.	이음매판체결개소 점검: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.19.	2종차단작업개소 점검: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.20.	이음매판체결개소 점검 및 관내 체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.26.	이음매판체결개소 점검 및 관내 체결장치보수: 이상없음
송탄시설	오산~서정리, 상,하선: 59.200	12.27.	경부선 PCT파손개소 청원선 건널목 점검: 이상없음

[표5] 사고발생구간 선로 순회점검 및 보수내용

#### 1.5.2.4 보선장비 보수작업 내용

한국철도공사 수도권 서부본부에서는 「선로정비지침」에 따라 사고발생 구간에 대하여 MTT(Multiple Tie Tamper) 장비를 사용하여 선로 유지보수 작업을 시행하였다.

사고발생 전 6개월 이내 사고발생구간 선로에 대하여 보선장비에 의한 보수작업 내용은 [표6]과 같다.

장비소속 (근무자)	장비명	선별	상하	역간	위치	실적	차단 월일	차단시간	비고
수원장비 운영사업소	MTT 0202	경부선	하1	오산~ 서정리	57.800~58.550 58.900~59.100	950m	07.23.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 9802	경부선	하1	오산~ 서정리	56.200~57.000	800m	07.23.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 0202	경부선	하1	오산~ 서정리	62.500~63.400	900m	07.25.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 0202	경부선	하1	오산~ 서정리	61.800~62.650	850m	09.26.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 9802	경부선	하1	오산~ 서정리	64.280~65.550	1,270m	10.13.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 0202	경부선	하1	오산~ 서정리	57.400~58.400 침목교환작업개소	1,000m	11.27.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간
수원장비 운영사업소	MTT 0202	경부선	하1	오산~ 서정리	62.100~63.100	900m	12.14.	00:40~04:30 (3:50)	장대 구간

[표6] 보선장비 운용실적

1.5.2.5 궤도틀림 불량개소 보수내용

사고발생구간에 대하여 궤도검측차에 의한 궤도틀림 측정결과, 불량개소에 대한 보수내용은 [표7]과 같다.

선별	상하	역간		시점	종점	연장	지적 내용	불량치	보수구분	보수일	보수내용
경부선	하1	오산	서정리	57.041	57.043	2.5	면우	-16.5	계획보수	11.05.	면맞춤
경부선	하1	오산	서정리	57.178	57.188	9.5	면좌	-18.5	계획보수	11.12.	면맞춤
경부선	하1	오산	서정리	57.185	57.187	2.5	면우	-16.1	계획보수	11.13.	PCT교환 면맞춤
경부선	하1	오산	서정리	57.359	57.361	2.0	면우	-17.4	계획보수	11.12	면맞춤

[표7] 사고발생구간 궤도 불량개소 보수내용

1.5.2.6 사고발생구간 PC침목 점검내용

사고발생구간에 대한 PC침목 점검결과는 [표8]과 같다.

NO	선별	역간	상하	시점	종점	점검결과
1	경부선	오산~진위	하1	57.200	59.200	양호
2	경부선		하1	59.200	59.400	양호
3	경부선		하1	59.400	59.600	양호
4	경부선		하1	59.600	59.800	양호
6	경부선		하1	59.800	60.000	양호
7	경부선		하1	60.000	60.400	양호
8	경부선		진위~송탄	하1	60.400	60.600
9	경부선	하1		60.600	60.800	양호
10	경부선	하1		60.800	61.000	양호
11	경부선	하1		61.000	61.200	양호
12	경부선	하1		61.200	61.400	양호
13	경부선	하1		61.400	61.600	양호
14	경부선	하1		61.600	61.800	양호
15	경부선	하1		61.800	62.000	양호
16	경부선	하1		62.000	62.800	양호
17	경부선	하1		62.800	63.000	양호
18	경부선	하1		63.000	63.200	양호
19	경부선	하1		63.200	63.600	양호
20	경부선	하1		63.600	63.800	양호
21	경부선	하1		63.800	64.000	양호

[표8] 사고발생구간 PC침목 점검결과

1.5.2.7 궤간 및 캔트 측정결과

이번 사고열차의 최초 탈선지점은 오산역 구내 구간으로, 궤간 및 캔트 측정결과, 「선로정비지침」 허용기준치 이내였다.

궤간 및 캔트 측정결과는 [표9]와 같다.

측정 위치(km)	궤 간 (기준: 1,435mm 허용치: +10~-2)	캔 트 (허용치: C=150 이하)	비 고
57.100	1,438	0	
57.110	1,437	2	
57.120	1,442	0	
57.130	1,440	0	
57.140	1,438	1	
57.150	1,440	0	
57.160	1,441	0	
57.170	1,437	0	
57.180	1,437	2	
57.190	1,442	1	
57.200	1,438	0	
57.210	1,437	0	
<b>57.220</b>	<b>1,436</b>	<b>0</b>	<b>최초탈선지점</b>
57.230	1,439	0	
57.240	1,440	3	
57.250	1,440	2	

[표9] 사고발생구간 궤간 및 캔트 측정결과

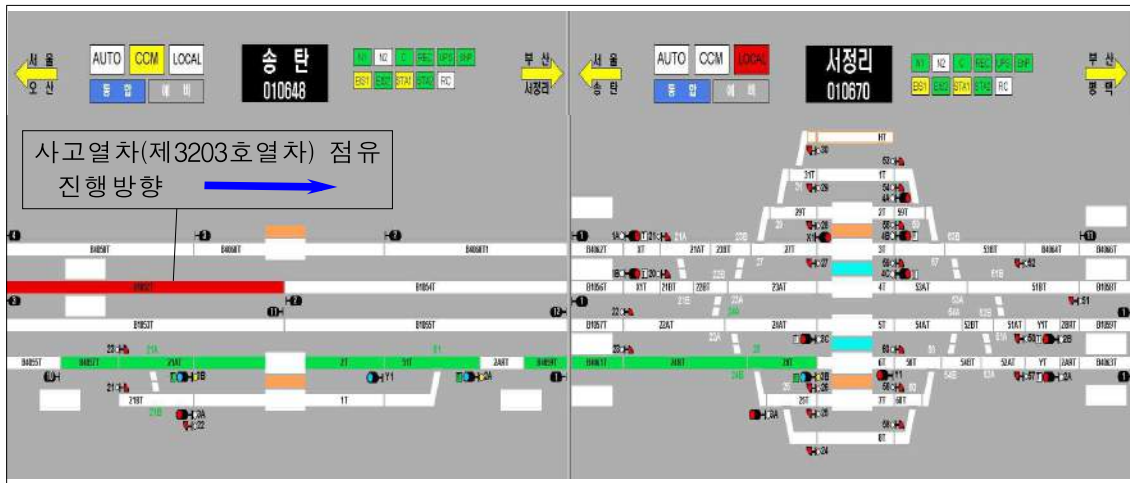
1.5.3 전기·신호정보

1.5.3.1 전기관련

사고발생구간은 교류 25,000 볼트가 전차선에 공급되는 구간이나, 사고열차는 디젤기관차로서 전차선과 관련이 없었다.

1.5.3.2 신호관련

사고발생구간인 오산~송탄역 구간은 2복선 중 경부1선의 5현시(진행-감속-주의-경계-정지)구간으로서, 사고열차는 [그림10]과 같이 정상적인 진행 신호에 따라 오산역 → 송탄역 간을 운행하고 있었다.



[그림10] 오산~송탄역 간 궤도회로 점유상태 (화물열차 탈선)

사고열차가 오산~송탄역 간 57.190km 지점에서 화차(490794호) 앞대차 오른쪽 차륜이 깨져 탈선 된 이후 약 6,780m 운행하면서, [그림11]과 같이 선로 중앙에 설치되어 있는 ATS 지상장치 7조와 ATP6) 지상장치 발라스 12조를 파손하였다.



[그림11] 발라스 및 ATS 파손 상태

1.6 기상정보

기상청 수원 기상대 자료에 따르면, 2013년 12월 30일(월) 17시 50분경(사고당시)의 평균기온은 0.7℃, 상대습도는 79.1%, 풍향은 서풍, 풍속은 5.8m/s, 강수량은 없었고, 운량은 18%로 대체로 맑은 날씨였다.

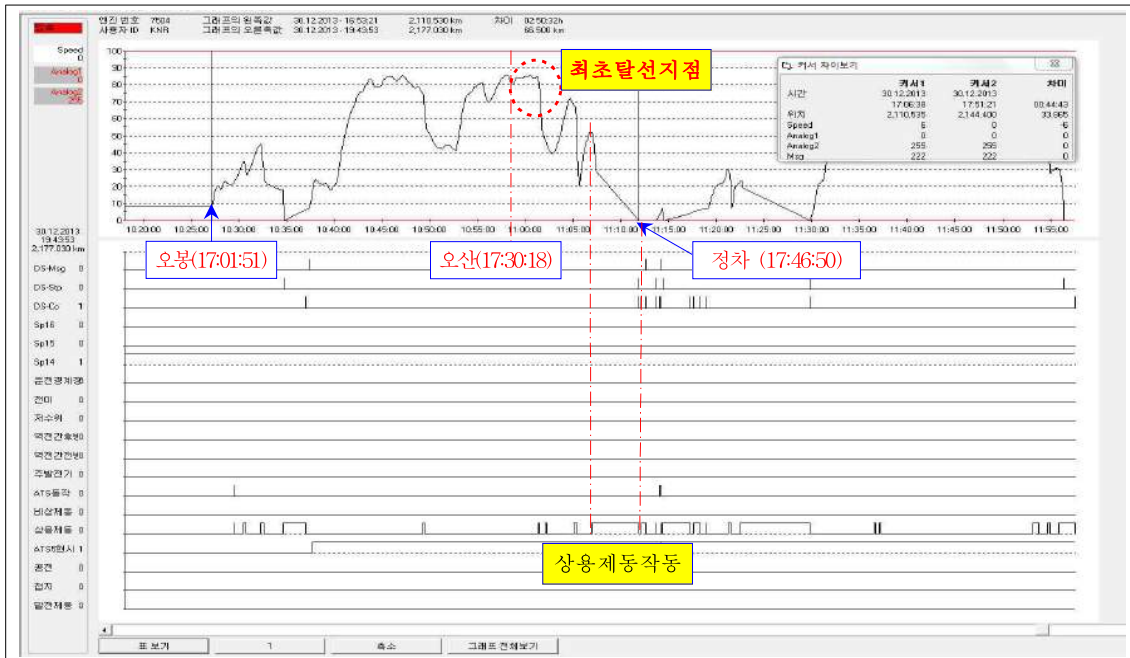
6) 열차자동방호장치(Automatic Train Protection)

1.7 사고열차 운행기록

사고열차는 [그림12]와 같이, 17시 1분경 오봉역에서 출발하여 의왕역에서 ATS 장치를 5현시로 전환하였으며, 하1선 약 21km/h 속도에서 제동력을 시험하였고, 의왕→오산역 간 최고 85km/h 속도까지 운행하였다.

사고열차는 17시 30분경 오산역을 약 80km/h 속도로 통과하여 약 40km/h 속도까지 감속하였다가 72km/h 속도까지 증속시킨 후 진위역을 통과하였으며, 우향곡선(R=1,000m)을 지나 상용제동장치를 작동시켜 약 20km/h 속도까지 감속되었다가 다시 속도를 약 51km/h 까지 증속하였다.

사고화차는 탈선한 상태로 약 6,780m를 더 운행되다가 서울역 기점 64.100km 지점에서 상용제동장치가 작동(17:46:29)되었고, 약 152m를 더 운행되다가 송탄역 진입 전 약 48m 지점에서 정차(17:46:50)하였으며, 사고열차 운행정보기록은 [그림12]와 같다. 운행정보기록장치의 시간은 실제시간과 차이가 발생하고 있어서 6시간 34분 21초를 보정하였다.



[그림12] 사고열차 운행정보기록

## 1.8 관리정보

사고 발생 당시 한국철도공사는 전국철도노동조합의 파업(2013.12.9.~2013.12.31.) 중이었으며, 사고화차 검수는 제천조차장에 시행하고 있었고, 2013년 12월 10일 파업 중에 기본검수를 실시하였다.

제천조차장에서 기본검수를 시행 할 당시 기본검수는 「노동법」에 따라 단체협약의 대상인 필수 유지업무 대상으로 지정되지 않아, 총 검수인원 67명 중 차량관리팀장, 선임장, 기술원 등 9명이 근무하고 있었고, 사고화차 등 49량은 1명이 기본검수를 시행하였다.

한국철도공사 부곡기관차승무사업소는 전국철도노동조합의 파업중에 기관사 부족상태로 운용되었으며, 부족한 기관사 및 부기관사는 철도차량 운전면허를 소지한 사람들을 대체 근무시키고 있었다.

사고열차에는 기관사 대신 지도운용팀장이 기관사로 대체승무 중이었으며, 부기관사는 운전기술협회에서 채용하여 구내기관사로 근무하고 있는 전직 기관사가 승무하였다.



## 2. 분석

### 2.1 업무수행사항 분석

#### 2.1.1 기관사

기관사는 지도운용팀장으로 한국철도공사 「동력차승무원 지도운용내규」 제19조(지도요원 직무 및 근무형태) 제3항 다호에 따라 열차를 운전하는 기관사로서의 자격에는 문제점이 없었다.

기관사가 운전하는 사고열차는 시멘트화차(빈차)로 구성되어 있었으며, 한국철도공사 「운전취급시행세칙」 제13조(차량 최고속도)에서 정한 경부선 운행속도 90km/h 이하로 운행되었고, 의왕역에서부터 열차자동정지장치(ATS)를 5현시 위치로 전환하여 운행한 것은 적정하였다.

그러나 열차의 속도가 떨어지고 서정리역 로컬관제사의 무전내용을 청취한 후 사고열차 후부에서 연기가 발생하고 있다는 것을 인지한 것으로 볼 때, 기관사는 「운전취급규정」에 따라 열차 후부감시를 소홀히 하여 탈선에 의한 피해를 더욱 확대시킨 것으로 판단되었다.

#### 2.1.2 부기관사

부기관사는 한국철도공사 「동력차승무원 지도운용내규」 제25조에 따라 부곡기관차 승무사업소에서 구내기관사로 근무하기 위해 교육(이론: 8시간 이상, 실기: 기관사 60시간 이상 또는 1,200km 이상, 부기관사 50시간 이상)을 이수한 것으로 볼 때, 부기관사로서의 자격에는 문제점이 없었다.

그러나 부기관사는 「운전취급규정」에 따라 열차 후부감시를 실시하여야 하나, 서정리역 로컬관제사의 무전통화 내용을 청취한 후 사고열차 후부를 확인한바, 사고열차 후부에서 연기가 발생하고 있다는 것을 인지한 것으로

불 때, 부기관사는 「운전취급규정」에 따라 열차 후부감시를 소홀히 하여 탈선에 의한 피해를 더욱 확대시킨 것으로 판단되었다.

### 2.1.3 기타관계인

관제사 및 로컬관제사 등은 이번 사고와 직, 간접적인 관련이 없어 업무수행사항에 대한 기록을 생략하였다.

## 2.2. 차량분석

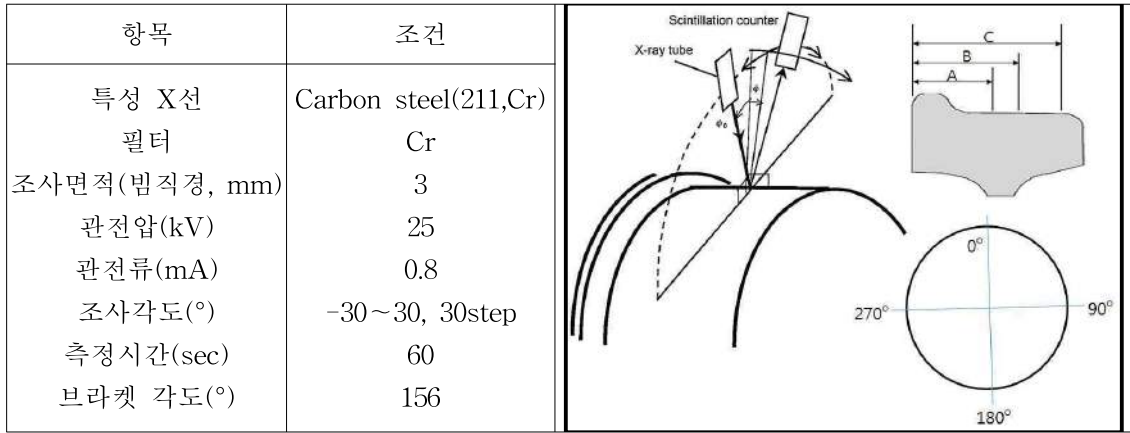
### 2.2.1 파손차륜의 표면 잔류응력 분석

#### 2.2.1.1 잔류응력 측정조건과 측정 위치

파손차륜의 표면 잔류응력 측정은 한국철도기술연구원에서 X선 응력측정법을 이용하였으며, 차륜 잔류응력 측정장비는 TEC 4000(TEC社, USA)을 사용하여 인장잔류응력과 압축잔류응력을 측정하였다.

또한 차륜에서의 잔류응력의 측정은 원주방향으로 측정하였으며, X선 조사각도는  $-30^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 로  $30^{\circ}$ 간격으로 측정하였고, X선 회절조건은 응력측정법에 따라 회절피크 이동을 회절각으로 하여,  $\pm$ 방향으로 각각 5회( $0^{\circ}$ ,  $20.7^{\circ}$ ,  $30.0^{\circ}$ ,  $67.8^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ) 기울여(tilting) 격자간격으로 [그림13]과 같은 조건으로 잔류응력을 측정하였다.

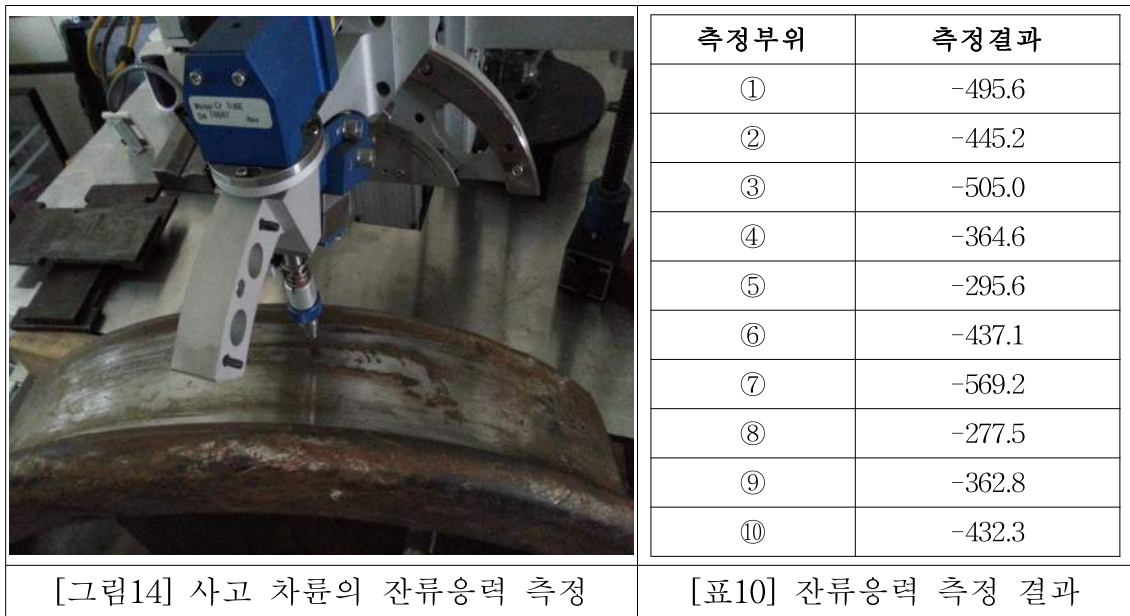
파손차륜의 잔류응력 시험조건 및 측정위치는 [그림13]과 같다.



[그림13] 잔류응력 시험조건 및 측정위치

2.2.1.2 잔류응력 측정 결과

[그림14]와 [표10]과 같이 차륜 답면의 표면에서 플랜지 부위를 기준으로 40~90mm이내 위치에서 10곳에 대한 잔류응력을 측정하였으며, 측정결과 인장잔류응력은 발견되지 않았고, 압축잔류응력은 허용범위인 -600~+300MPa 사이로 측정 된 것으로 볼 때, 표면 잔류응력이 차륜과손에 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.



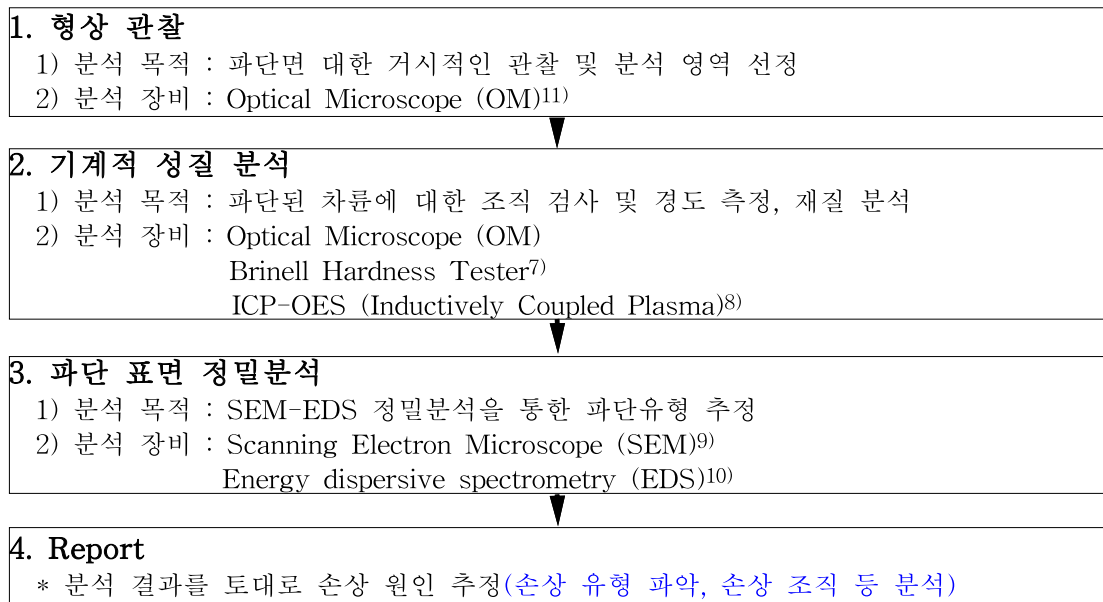
[그림14] 사고 차륜의 잔류응력 측정

[표10] 잔류응력 측정 결과

## 2.2.2 사고 차륜의 파단면과 피로분석

### 2.2.2.1 사고 차륜의 파단면 분석

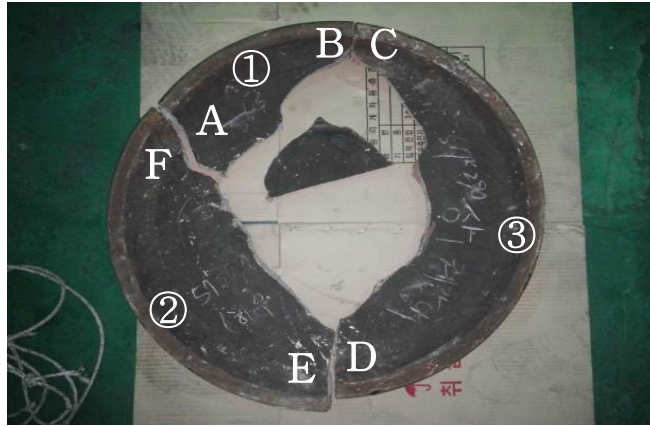
사고차륜의 파단면 분석은 [표11]과 같이 분석영역을 설정하여 형상관찰을 실시하고, 기계적 성질을 분석하였으며, 사고차륜의 파단표면에 대한 정밀분석을 진행하였다.



[표11] 사고차륜의 파단면 분석 방법

파단면에 대한 전자현미경 분석은 [그림15]와 같이, 차륜조각이 떨어져 나간 순서대로 구분하여 1번, 2번, 3번, 4번 차륜조각으로 구분하여 분석하였다.

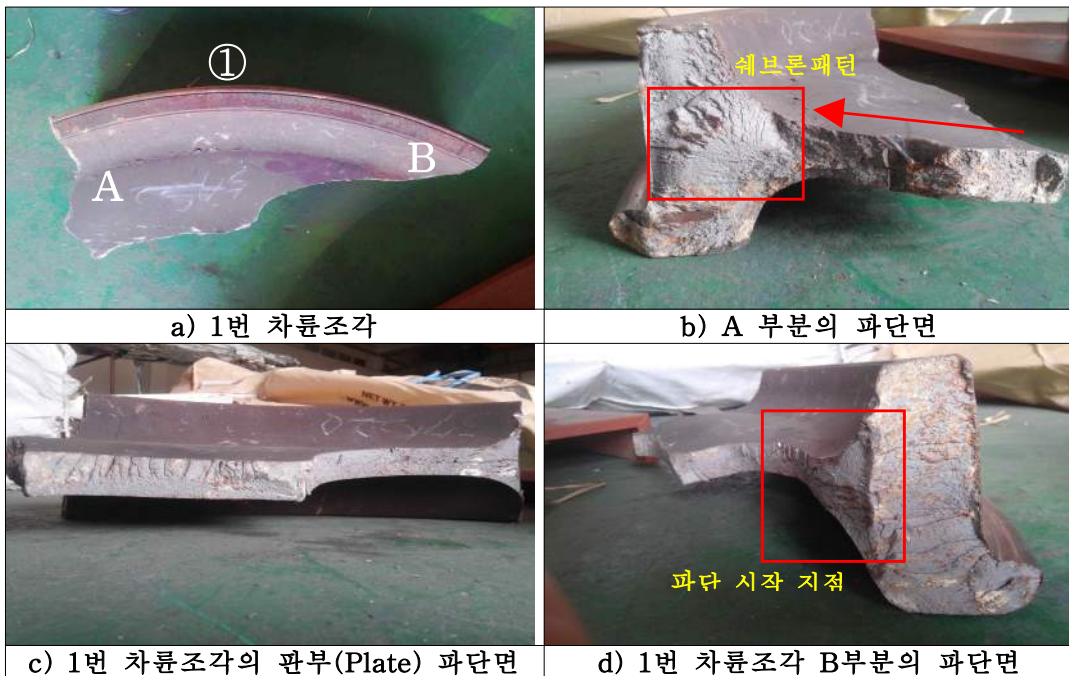
- 7) Brinell Hardness Tester(브리넬 경도 시험기) : 구형의 압입자를 일정한 하중으로 시편에 압입함으로써 경도를 측정하는 장비
- 8) ICP-OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) : 유도결합 플라즈마를 이용하여 시료를 태울 때 발생하는 에너지를 검출하여 원소 함량을 측정하는 장비
- 9) Scanning Electron Microscope(SEM) : 전자총으로 부터 방출된 전자빔이 시편에 주사 되면서 이때 이차적으로 발생하는 다양한 전자를 이용하여 시편 표면의 미세조직을 관찰하는 장비
- 10) Energy dispersive spectrometer(EDS) : 시료 표면에서 방출되는 특성 X선의 파장과 강도를 X선 분광기로 측정하여, 그 미소영역에 0.1% 이상 함유되어 있는 원소를 정성 및 정량 분석하는 장비
- 11) Brinell Hardness Tester(브리넬 경도 시험기) : 구형의 압입자를 일정한 하중으로 시편에 압입함으로써 경도를 측정하는 장비



[그림15] 파손 된 차륜의 전체조각

2.2.2.2 1번 차륜의 파단면 분석

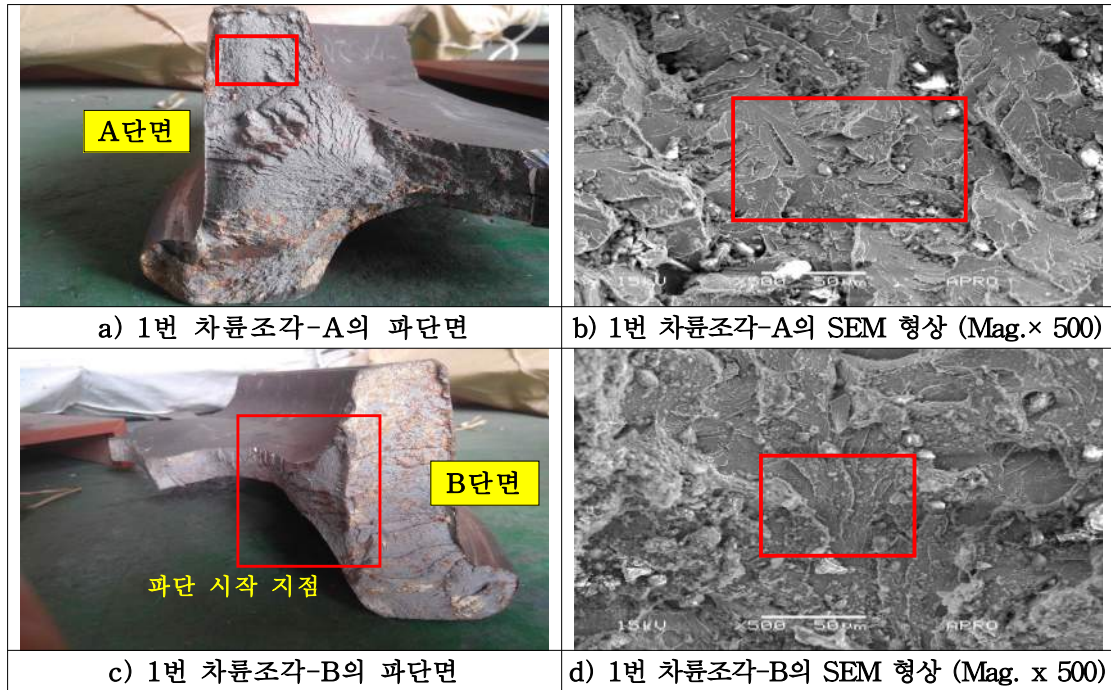
1번 차륜 A의 플레이트에서는 [그림16]과 같이 나타나는 쉘브론패턴(Chevron Mark)<sup>12)</sup>가 확인되었으며, 파단은 B 부분에서 취성파괴<sup>13)</sup>가 진행 된 것으로 분석되었고, 파단 시작지점에서는 미세균열이나 피로파괴<sup>14)</sup> 형상은 나타나지 않은 것으로 분석되었다.



[그림16] A 파단면의 전체적인 파괴 진행

- 12) 쉘브론패턴 : 취성파면에서 관찰되는 갈매기 형태의 무늬
- 13) 취성파괴 : 시편이 항복이 일어나지 않고 급격한 균열이 일어나는 재료 파괴 방식
- 14) 피로파괴 : 반복응력 또는 반복변형을 받는 부품 또는 이를 이루고 있는 재료에 물리적 손상이 누적되어 진전하는 균열에 의하여 진행되는 파괴 방식

손상된 차륜의 파단면을 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 분석하였으며, 1번 차륜조각 A와 B부분에 대한 관찰 결과, [그림17]과 같이 취성파괴로 인한 벽개파괴<sup>15)</sup>의 형상이 나타난 것으로 분석되었다.



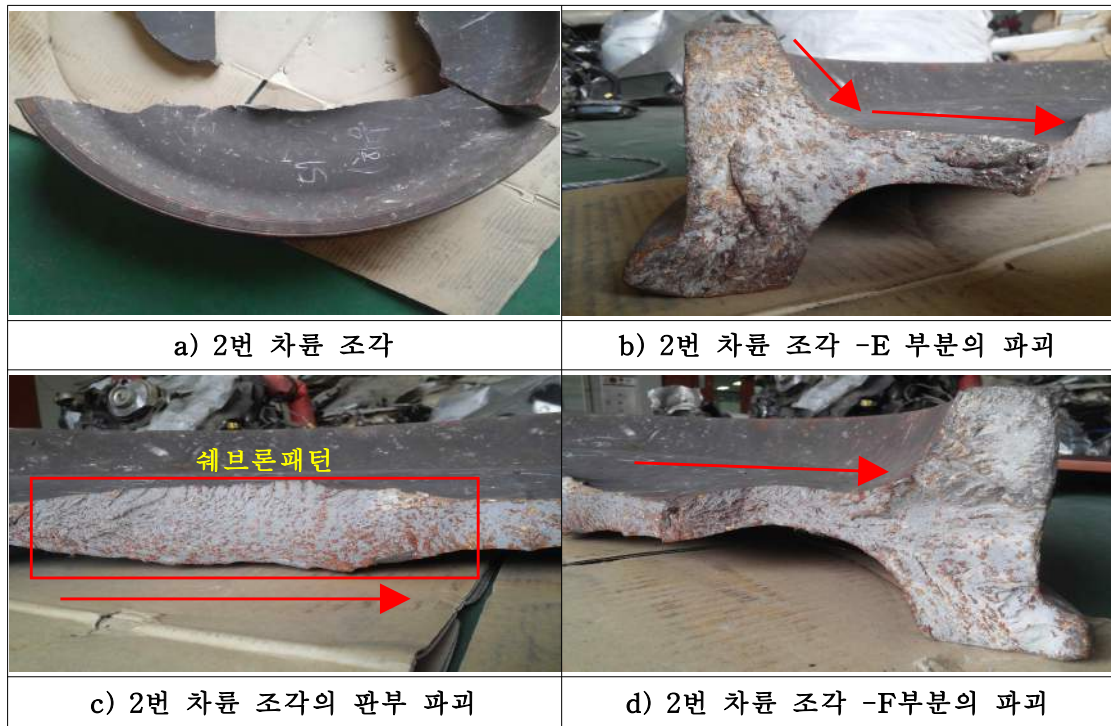
[그림17] 1번 차륜조각의 A 파단면의 파괴 진행

### 2.2.2.3 2번 차륜의 파단면 분석

2번 조각 차륜의 파단면에서는 [그림18]과 같이 전체적으로 취성파괴의 양상이 관찰되었고, 플레이트면도 웨브론패턴으로 파단된 것으로 분석되었다.

15) 벽개파괴(Cleavage fracture) : 금속에서 특정의 결정면(벽개면)을 따라 소성변형 없이 일어나는 취성 파괴의 현상을 벽개라고 하며, 벽개면에 따라 발생한 균열에 의해 파괴되는 현상

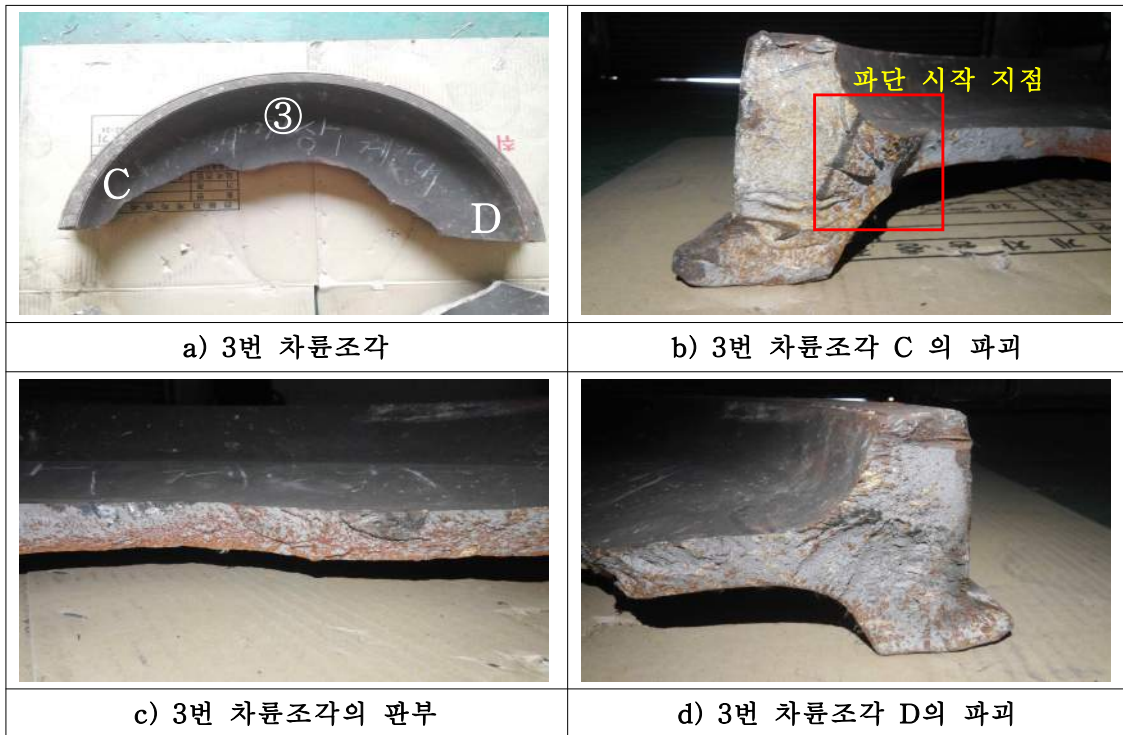




[그림18] 2번 조각 차륜의 파괴 진행

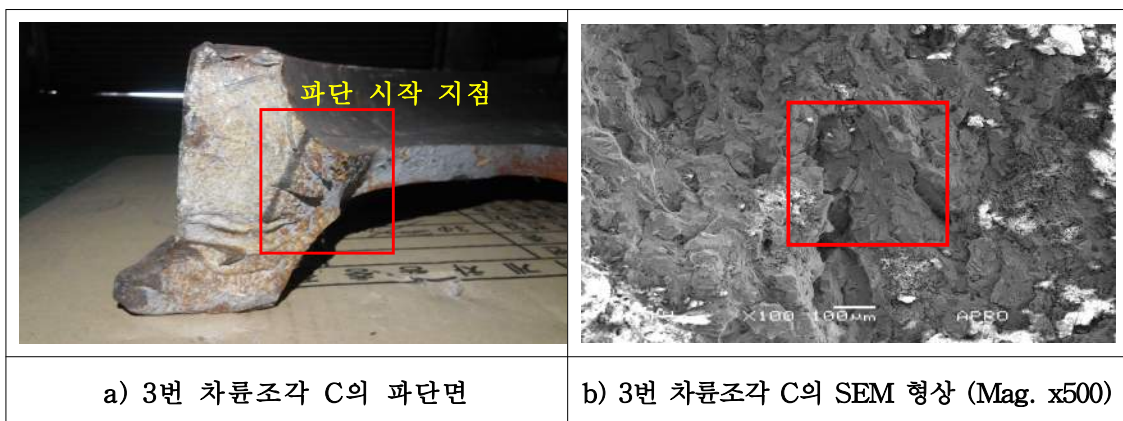
#### 2.2.2.4 3번 차륜의 파단면 분석

1번 차륜조각과 마찬가지로, 3번 차륜조각의 파단면에서도 전체적으로 취성 파괴의 양상이 관찰되었으며, 파단면의 형태를 전자현미경으로 분석 한 결과, [그림19]와 같이, 1번 차륜조각 B와 같이 3번 차륜조각 C부분에서부터 파단이 시작된 것으로 분석되었다.



[그림19] 3번 차륜조각의 파괴

3번 차륜조각 C에 대한 주사전자현미경 분석 결과, [그림20]과 같이 파단 시작지점의 1차륜 조각 B와 마찬가지로 취성파괴로 인한 벽개파괴의 형상이 나타난 것으로 분석되었으며, 피로파괴의 파면이나 미세균열 등의 특이사항은 관찰되지 않은 것으로 분석되었다.



[그림20] 3번 차륜조각에 대한 SEM 분석



## 2.2.3 사고 차륜의 기계적 성질 분석

### 2.2.3.1 미세조직 분석

손상된 차륜에 대하여 미세조직을 관찰하기 위하여 시편 채취 후 미세조직을 분석하였다.

분석한 결과 Fe-C 계열의 조직이 확인되었고, 편석<sup>16)</sup>이나 열처리에 의한 미세균열은 존재하지 않았으며, 내부조직의 결함에 의한 파단은 아닌 것으로 분석되었다.

### 2.2.3.2. 경도 분석

차륜 재질의 경도를 측정하기 위하여 시편 채취 후 경도를 측정하였으며, 철도 차량용 차륜 규격 KRS<sup>17)</sup> 9221에 명시된 경도를 비교하여 총 5회에 걸쳐 측정된 데이터와 평균값을 비교하였으며,

[표12] 및 [그림21]과 같이 측정한 결과, 차륜의 경도는 차륜 파단에 영향을 미치지 않은 것으로 분석되었다.

경도	KRS 9221	조 사 품					
		1회	2회	3회	4회	5회	평균
HB	248 ~ 285	264	272	274	268	276	271

[표12] 사고차륜의 경도 측정결과

16) 편석 : 응고된 금속 내부가 부위에 따라 각각 다소 다른 화학성분의 농도를 가지게 되는 현상

17) Korean Railway Standards : 한국철도표준규격



[그림21] 사고차륜의 경도 측정결과 비교

2.2.3.3. 재질 분석

차륜에 적용된 KRS 9221 탄소강으로 예상되는 파단품의 재질을 분석하기 위하여 Inductively Coupled Plasma(ICP) 장비를 사용하였으며, KRS 9221에 의한 화학 성분을 [표13]에 나타내었다.

[단위 : %]

성분[%]	C	Mn	Si	P	S	Cu
KRS 9221	0.67 이하	0.6 ~ 0.9	0.15 이상	0.045 이하	0.045 이하	0.35 이하
사고차륜	0.42	0.73	0.25	0.022	0.04	0.31

[표13] 사고차륜의 ICP 재질분석 결과

분석 진행을 위해 시료를 채취 후 왕수(질산, 염산)와 불산을 이용하여 시료를 수용액 상태로 제조하였고, 장비 내부의 플라즈마 불꽃이 시료를 태우는 과정에서 발생하는 에너지를 검출하였다.

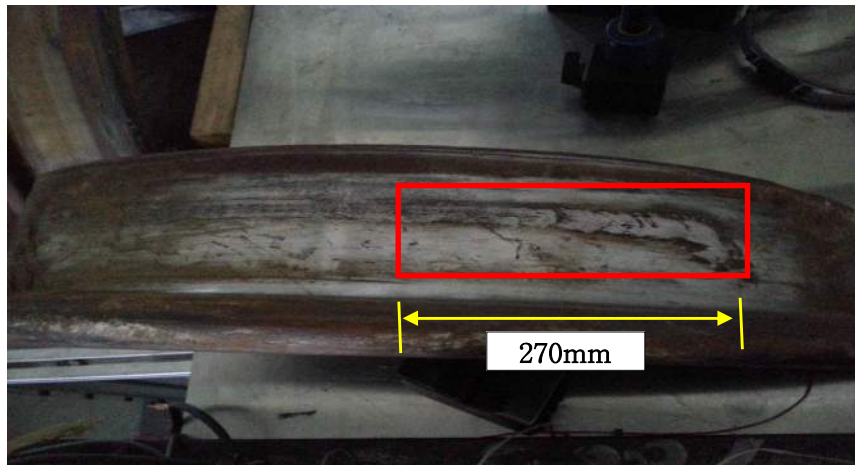
파단부분의 재질을 KRS 9221에 의한 화학 성분을 비교 분석한 결과, 재질의 성분에는 이상이 없는 것으로 분석되었다.

금속조직 분석결과, 특이사항이 없었으며, 경도 분석결과, KRS 9221규격에 적합하였다. 또한 파단품의 재질 분석 결과, C 0.42%, Mn 0.73%, Si 0.25%, P 0.022%, S 0.04%, Cu 0.31%의 함량이 검출되었으며, KRS 9221의 함량

범위에서 벗어나는 원소는 없는 것으로 KRS 9221에서 규정하는 철도 차량용 차륜규격에는 적합한 것으로 분석되었다.

### 2.2.3.4 1번 차륜조각의 답면 분석

제일 먼저 떨어져 나간 1번 차륜조각의 답면을 분석한 결과, 제동력이 점착력 보다 클 때 발생하는 찰상과 부분박리가 발견된 것으로 볼 때, 차륜의 진동 및 충격으로 인해 취성과파괴가 진행된 것으로 분석되었다. 차륜조각의 상태는 [그림22]와 같다.



[그림22] 1번 차륜조각의 답면

### 2.2.4 차륜 파손에 대한 전체적인 분석결과

파단면의 거시적인 관찰 결과, 파단면 전체적으로 취성과파괴의 형상이 나타났으며, 소성변형<sup>18)</sup>, 연성과파괴<sup>19)</sup>, 피로파괴 및 미세균열 등은 발견되지 않은 것으로 분석되었다.

사고차륜의 금속조직 분석 결과, 특이사항이 나타나지 않았으며, 성분 분석 결과, C 0.42%, Mn 0.73%, Si 0.25%, P 0.022%, S 0.04%, Cu 0.31%의

18) 소성변형(Plastic Deformation) : 탄성한도 이상의 힘에 의해 재료가 영구변형이 일어나 원상회복이 불가능하게 되는 성질

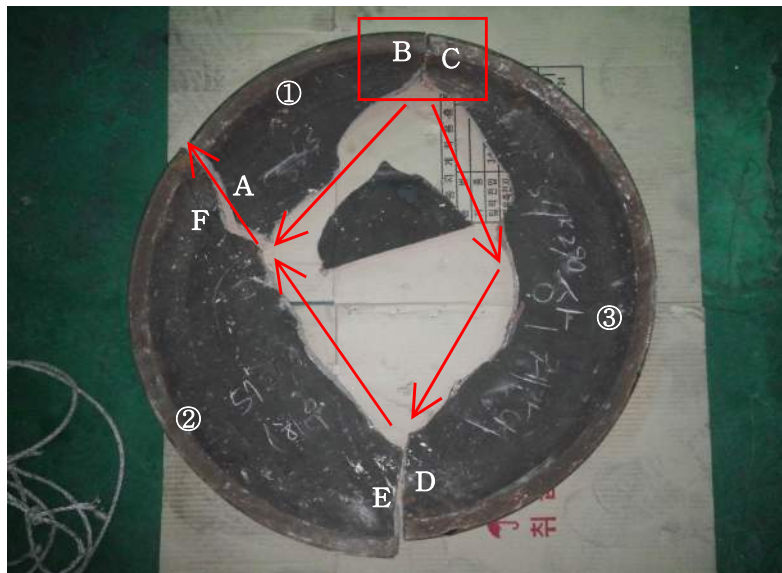
19) 연성과파괴(Ductile Failure) : 재료가 탄성한도 이상의 힘에 의해 가늘고 길게 늘어나며 파괴되는 현상

조성이 검출되었고, 경도 분석 결과, KS R 9221 규격을 만족한 것으로 분석되었다.

사고차륜에 대해 주사전자현미경을 통한 파단면 정밀 분석 결과, 전체적인 파단면에서 벽개파괴의 형상이 나타났으며, 취성파괴로 인한 벽개파괴의 형상이 관찰되어 짧은 시간에 파단이 진행된 것으로 분석되었다.

사고차륜의 답면에서 박리와 찰상이 발견되었으며, 이로 인한 진동과 충격으로 인해 취성파괴가 급격히 진행된 것으로 분석되었고, 1번 차륜조각과 3번 차륜조각 B와 C사이에서 처음 균열이 시작되어 1번 차륜이 떨어져 나갔으며,

2번 차륜조각은 회전방향에 따른 충격과 하중에 의해 두 번째로 떨어져 나갔고, 3번 차륜조각 역시 레일과 충격에 의해 차륜의 보스(boss)부분에서 이탈된 것으로 분석되었다. 차륜의 파손 진행 방향은 [그림23]과 같다.



[그림23] 차륜파손의 진행순서

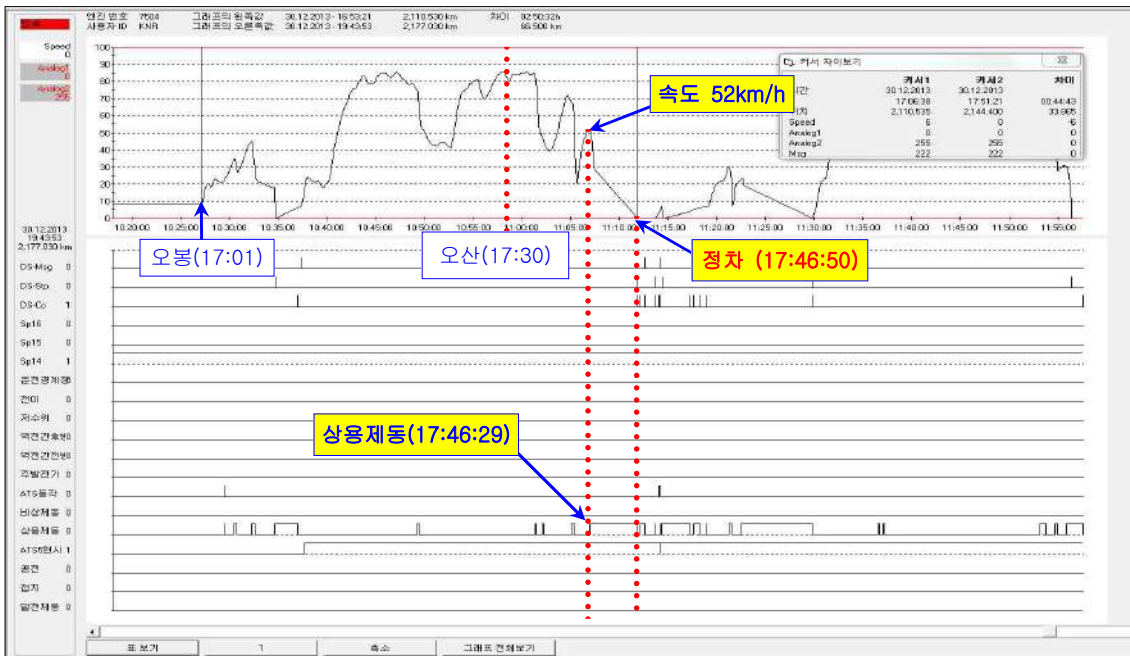
또한 1번 차륜조각의 답면에서 박리와 찰상(270mm×32mm×16mm)이 발견되었으며, 이는 2차 삭정한도 70mm를 넘어서는 것으로 분석되었다.

### 2.3 열차운행기록 분석

[그림24]와 같이 사고열차는 17시 30분 18초경 오산역을 통과하여 85km/h 속도로 운행되었고, 경부선 하행선 오산~송탄역 사이 열차 운전선도에 맞게 운전속도를 증속, 감속하면서 운행되었으며,

17시 45분경 용산행 무궁화호 열차 기관사가 서정리역 로컬관제사에게 무전 통보로 사고열차 후부에서 연기가 나는 것을 확인 후 인지되어 속도 52km/h 에서 상용제동이 체결되었으며, 17시 46분 50초경 서정리역 진입 전 48m 지점(서울역 기점 64.252km 지점)에서 정차된 것으로 분석되었다.

사고열차의 운행기록표는 [그림24]와 같다.



[그림24] 사고열차 운행기록표

### 2.4 화물적재량 분석

사고화차는 시멘트 운송용 벌크화차로써, 사고 당시 빈차였던 것으로 볼 때, 화물적재량의 과적 및 편심 등에 의하여 탈선이 발생한 것은 아닌 것으로 분석되었다.

## 2.5 선로분석

사고발생구간 선로는 50kg의 장대레일을 사용하고 있었고, 곡선 반경, 캔트, 구배, 궤간 등 선로 측정결과, 선로에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

사고발생구간 선로 유지보수 작업내용은 [표14]와 같다.

시설반	시행일	작업종류	선별	역간	상하	시점 (km)	종점 (km)	연장 (m)	작업량 (m)
송탄반	131106	궤도_면맞춤	경부선	오산-진위	하1	59.2	60	800	30
송탄반	131106	궤도_줄맞춤	경부선	오산-진위	하1	59.2	60	800	60
오산반	131107	궤도_면맞춤	경부선	오산-진위	하1	57.3	57.6	300	20
송탄반	131120	궤도_도상정리	경부선	진위-송탄	하1	61.15	61.35	200	100
송탄반	131120	궤도_면맞춤	경부선	진위-송탄	하1	61.15	61.35	200	40
송탄반	131120	궤도_줄맞춤	경부선	진위-송탄	하1	61.15	61.35	200	60
송탄반	131125	궤도_도상정리	경부선	오산-진위	하1	59.2	59.3	100	60
송탄반	131125	궤도_면맞춤	경부선	오산-진위	하1	59.2	59.3	100	50
송탄반	131125	궤도_줄맞춤	경부선	오산-진위	하1	59.2	59.3	100	60
오산반	131127	궤도_PC침목교환	경부선	오산-진위	하1	57.6	57.8	200	25
송탄반	131202	궤도_도상정리	경부선	오산-진위	하1	60.1	60.3	200	100
송탄반	131202	궤도_면맞춤	경부선	오산-진위	하1	60.1	60.3	200	30
송탄반	131202	궤도_줄맞춤	경부선	오산-진위	하1	60.1	60.3	200	60
송탄반	131211	궤도_레일류보수	경부선	오산-진위	하1	59.6	59.7	100	10

[표14] 사고발생구간 선로 유지보수 작업내용

## 2.6 전기·신호시스템 분석

사고발생구간은 전차선 구간 이었고, 사고열차는 디젤기관차로서 전차선과 관련이 없었고, 전자연동장치의 궤도회로 신호상태에서도 열차진행에 문제점이 없었던 것으로 분석되었다.

## 2.7 관리정보 분석

한국철도공사의 전국철도노동조합이 2013년 12월 9일부터 2013년 12월 31일 11시까지 파업을 실시하여, 2013년 12월 10일 제천조차장에서 실시한 기본검수는 파업기간 중 실시되었다.

제천조차장에서는 [표15]와 같이 검수 당시 필수 유지업무 대상으로 지정되지 않아, 총 검수인원 67명 중 차량관리팀장, 선임장, 기술원 등 8명이 근무하고 있었고, 사고화차 등 69량은 2명이 기본검수를 시행했던 것으로 볼 때, 검수인력이 부족하여 전반적으로 검수업무가 미흡했을 것으로 판단되었다.

검수일자	1일 정비수량	정비인원	1인당 검수량	검수주기	검수방법	비고
2013.12.06. (파업 전)	10개 열차 (200량)	8명	25량	기본검수	육안점검	평상시 점검
2013.12.10. (파업 중)	3개 열차 (69량)	2명	34.5량	기본검수	육안점검	파업 중 점검

[표15] 파업 시 제천조차장의 차량검수 비교표

### 3. 결론

#### 3.1 조사결과

3.1.1 사고열차 기관사 및 부기관사는 「운전취급규정」에 따라 열차 후부감시를 실시하여야 하나, 이를 소홀히 하여 탈선에 의한 피해를 더욱 확대시켰다.

3.1.2 사고차륜에 대한 분석결과, 인장잔류응력은 발견되지 않았고, 압축잔류응력은 허용치 이내로 측정되어 문제가 없었다.

3.1.3 파손차륜의 파단면에서 차륜 내부 취성파괴 시 나타나는 웨브론 패턴이 확인되었다.

3.1.4 차륜의 조직에 피로파단으로 인한 형상은 없었으며, 소성변형, 연성파괴, 피로파괴 및 미세균열 등은 발견되지 않았다.

3.1.5 사고차륜의 성분 분석 결과, C 0.42%, Mn 0.73%, Si 0.25%, P 0.022%, S 0.04%, Cu 0.31%의 조성이 검출되었고, 경도 측정 결과 KRS 9221 규격을 만족하여 문제가 없었다.

3.1.6 사고차륜에 대해 주사전자현미경을 통한 파단면 정밀 분석 결과, 전체적인 파단면에서 취성파괴로 인한 벽개파괴의 형상이 관찰되어 짧은 시간에 파단이 진행된 것으로 확인되었다.

3.1.7 사고차륜의 1번 차륜조각 담면에서 박리와 찰상이 발견되었으며, 레일 점착과 제동체결 시 충격과 진동을 유발하여 차륜파손의 원인이 되었다.

3.1.8 사고차륜의 1번 차륜조각과 3번 차륜조각 B와 C사이에서 처음 균열이 시작되어 1번 차륜이 떨어져 나갔으며, 2번 차륜조각은 회전방향에 따



른 충격과 하중에 의해 두 번째로 떨어져 나갔고, 3번 차륜조각은 차륜의 보스(boss)부분에서 세 번째로 이탈되었고, 작은 조각이 마지막으로 떨어져 나갔다.

3.1.9 사고열차의 운행정보기록을 분석한 결과, 사고열차의 제한속도는 90km/h 였고, 사고열차는 운행속도 85km/h~22km/h의 속도로, 제한속도 내에서 운행되었다.

3.1.10 사고발생구간의 선로 유지보수 작업은 「선로점검지침」에 따라 주 1회 정상적으로 시행되고 있었다.

3.1.11 전국철도노조 파업기간 중에 인력이 부족한 상태에서 기본검수를 실시하여, 차륜의 찰상과 박리에 대한 검사가 제대로 이루어지지 않아, 삭정한도를 넘은 박리를 발견하지 못하였다.

## 3.2 사고원인

항공·철도사고조사위원회는 경부선 오산~송탄역 사이에서 발생한 화물열차 탈선사고의 원인은 제3203호 화물열차가 오산역에서 송탄역 방향으로 진행 중, 차륜의 박리와 찰상으로 인해 취약해진 차륜부분이 취성파괴되면서 깨져, 차륜이 궤도를 이탈하여 탈선사고가 발생하였으며,

기여요인으로는 사고화차 검수 시 차륜 검사를 소홀히 하여 차륜에 박리와 찰상이 있는 것을 검사 시 사전에 발견하지 못한 것으로 결정하였다.

## 4. 안전권고

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제26조에 따라 2013년 12월 30일 경부선 오산~송탄역 사이에서 발생한 화물열차 탈선 사고에 대하여 다음과 같이 권고한다.

### 4.1 한국철도공사에 대하여

4.1.1 차륜 검사 시 잘 보이지 않는 차륜과 제륜자의 접촉면 및 레일 접촉면에도 차륜의 찰상 및 박리를 검사할 수 있도록 검사방법을 개선.

(외국사례: 선로에 카메라, 소음측정기 및 진동측정기 등을 설치하여 검사)

4.1.2 차륜의 박리와 찰상이 기준치를 초과 한 경우, 균열이나 흠이 없도록 충분히 삭정하고, 차륜 발열로 인한 재질 변화가 발견된 경우 차륜의 마모한도와 관계없이 교환할 수 있도록 관련 규정을 개정하여 시행.

4.1.3 화물열차 차륜에 대한 검사를 할 때, 비파괴 자동검사장치 등의 사용을 검토하여 시행.

4.1.4 노동조합 파업 등으로 인한 사유 발생시에도, 차량정비 및 검사에 문제가 발생되지 않도록 차량정비계획(인력배치 포함)을 수립 시행.

4.1.5 파업 시 대체되는 기관사 및 부기관사에게 승무업무 투입 전 운전취급업무 교육을 철저히 실시.

4.1.6 기관사 및 부기관사에게 「운전취급규정」에 따라 열차 후부감시를 철저히 할 수 있도록 교육을 강화.

4.1.7 사고차륜과 동일시기에 제작되어 도입 된 차륜에 대하여 일체점검을 실시하고, 문제점 발견 시 조치방안을 마련하여 시행.

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 본 보고서(인쇄본)에 개인정보는 공개하지 않았으며,

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

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.



항공·철도사고조사위원회

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

전화: 044-201-5435

E-mail: capkji@naver.com