

보고서 번호

ARAIB/R 07-03

한국철도공사 경부선 대전역구내 화물열차 탈선사고('06.10.28)

철도사고조사보고서



2007. 3.



건설교통부

항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 “항공·철도사고조사에 관한 법률” 제25조 제1항에 의하여 작성되었다.

같은 법 제1조에 의하면 철도사고 등에 대한 조사의 궁극적인 목적은 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고 등의 예방과 안전 확보에 이바지하는 데 있다.

또한 제30조에는 사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법 절차, 행정절차 또는 행정쟁송절차와 분리·수행되어야 하고,

제32조에는 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 아니하도록 규정하고 있다.

그러므로 이 조사보고서는 철도분야의 안전을 증진시킬 목적 외에는 사용하여서는 아니 된다.

차 례

I. 개요	1
1. 사고개요	1
2. 조사개요	1
II. 사실정보	2
1. 탈선사고 경위	2
2. 피해사항	3
3. 탈선현장 조사	4
4. 탈선차량 및 차륜 관찰	9
5. 승무원 정보	12
6. 물적정보	13
7. 속도기록	16
8. 화차 및 차륜 검수실태	17
9. 파손 차륜 분석시험	18
III. 분석	21
1. 탈선 상황	21
2. 차륜 파손 원인	21
3. 선로피해 과다 발생 원인	23
IV. 조사결론	24
V. 안전권고	25
VI. 부록	27

철도사고조사보고서

운영기관 : 한국철도공사
 운행노선 : 경부선
 발생장소 : 대전역구내(대전광역시 동구 정동 소재)
 사고유형 : 열차탈선
 사고일시 : 2006. 10. 28(토) 00:33경

I. 개요

1. 사고개요

2006년 10월 28일(토) 00시 33분경, 우암선 신선대역을 떠나 경부선 오봉역으로 가던 제3036 컨테이너 화물열차가 경부선 대전역에 진입하던 중에 탈선하였다.

2. 조사개요

항공·철도 사고조사위원회(이하 “조사위원회”)에서는 대전역구내에서 화물열차가 탈선된 사실을 확인하고, 정확한 원인규명과 사고재발방지를 위한 대책을 수립하고자 항공·철도 사고조사에 관한 법률 제18조에 의거하여 다음과 같은 내용의 조사업무를 수행하였다.

최초 탈선된 지점의 침목 상태, 레일 상태, 시설물 상태 등을 포함하여 탈선화차의 훼손된 상태를 면밀히 조사하였고, 탈선열차를 운행한 기관사의 경위서, 기관사와 대전역 근무자와의 음성기록, 속도기록계 기록, 탈선화차의 제작 및 검수기록 등의 증거자료를 확보하여 검토하였다.

그리고 탈선사고 당시에 화차로부터 파손 분리되어 선로 좌.우에 흩어져 있던 차륜 조각 3개를 수거하여 국가공인시험기관인 한국기계연구원에 파손원인을 규명하기 위해 분석시험을 의뢰하였다.

또한, 조사위원회에서 조사한 사실에 대하여 관계인의 의견을 청취하였으며, 사고원인에 대한 개선대책을 반영한 조사보고서를 작성하였다.

II. 사실정보

1. 탈선사고 경위

2006년 10월 27일(금) 19시 18분경에 우암선 신선대역을 출발하여 경부선 오봉역으로 가던 한국철도공사 소속의 제3036 컨테이너 화물열차가 동대구역에서 승무원 교대를 한 후 22시 14분경에 동대구역을 출발하였다.

동대구를 출발한 화물열차는 서울기점 173.600km 지점의 세천역을 무정차 통과한 후 약 2.82km를 더 진행하다가 곡선반경 600m의 우곡선 종점부근에서 기관사가 비상제동을 취급하여 서울기점 170.515km 지점에서 정차하였다.

기관사가 열차 후부에서 발생한 불꽃현상을 완해불량으로 판단하여 비상제동을 취급하였으나, 불꽃현상은 21량 중 11량째 연결된 970009호 컨테이너 화차의 후부(後部)대차가 탈선하면서 발생한 현상이었다.

기관사가 비상제동 정차 후 차에서 내려 차량의 상태를 확인하지 않고 그대로 출발하여 대전역에 진입하다가 0시 33분경 51A선로전환기 전단부 텅레일(1)을 파손시키면서 970009호 화차의 전부(前部)대차도 탈선하였고, 마침내 열차가 서울기점 167.378km지점에서 비상제동 정차하게 되었다.

(1) 선로전환기 전단부 텅레일 : 선로전환기는 열차 또는 차량의 운행 선로를 변경시키는 기기이며, 텅레일은 침단 레일이라고도 하며, 분기기에 붙어 있는 가동레일의 일종으로 그 형태가 레일끝에서 앞쪽으로 향하여 혀모양으로 뾰족하게 만든 레일

세천역과 대전역 사이에서 열차가 비상제동 정차한 지점과 탈선 정차한 지점은 그림 1과 같다.

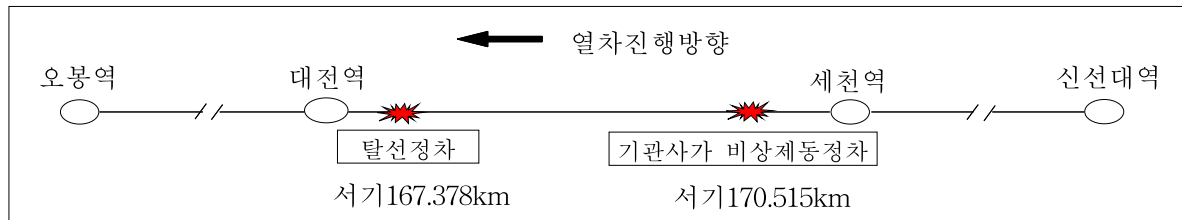


그림 1. 정차 위치

2. 피해사항

2.1 인명피해

인명 피해는 발생하지 않았다.

2.2 물적피해

- 시설피해는 콘크리트 침목 1,300개, 슐더 5,200개, 코일스프링 클립 4,000개, 타이패드 2,600개, 콘크리트 침목 체결구 3,000개 등이 파손되어 재료비 7,600여 만원의 피해액이 발생되었다.
- 신호시설피해는 ATS지상자 7개 및 선로전환기 첩단간 1조가 파손되어 재료비 220 여 만원의 피해액이 발생되었다.
- 차량피해는 탈선화차의 후부대차는 전파되었고, 전부대차 및 차체 일부가 파손되었다.

2.3 기타 피해

사고현장 복구에 약 11시간 32분이 소요되어 개통이 28일 12시 5분경에 이뤄졌다. 이 영향으로 KTX 고속열차 46개, 새마을호 열차 12개 및 무궁화열차 16개가 운행에 지장을 받았으며, 운행 지연에 따른 반환료가 상당금액 발생하였다.

3 탈선현장 조사

탈선사고 현장에서 탈선 흔적을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 최초 탈선 지점은 그림 2와 같다. 탈선 화차의 후부대차 차륜이 파손되면서 타격을 가한 것으로 보이는 최초의 흔적이 서울기점 171.6km지점의 선로 중앙 침목에서 발견되었고, 이어서 선로 중앙과 우측에서 타격 흔적들이 발견되었다.



그림 2. 탈선 흔적

- 탈선 지점 부근의 레일 표면을 관찰한 결과 탈선하면서 생길 수 있는 흔적은 발견하지 못하였다.

- 그림 3과 같이 최초 탈선 지점으로부터 약 27m 떨어진 위치에 있는 신축이음매 부분의 선로 중앙 침목과 지지대가 파손되었다.

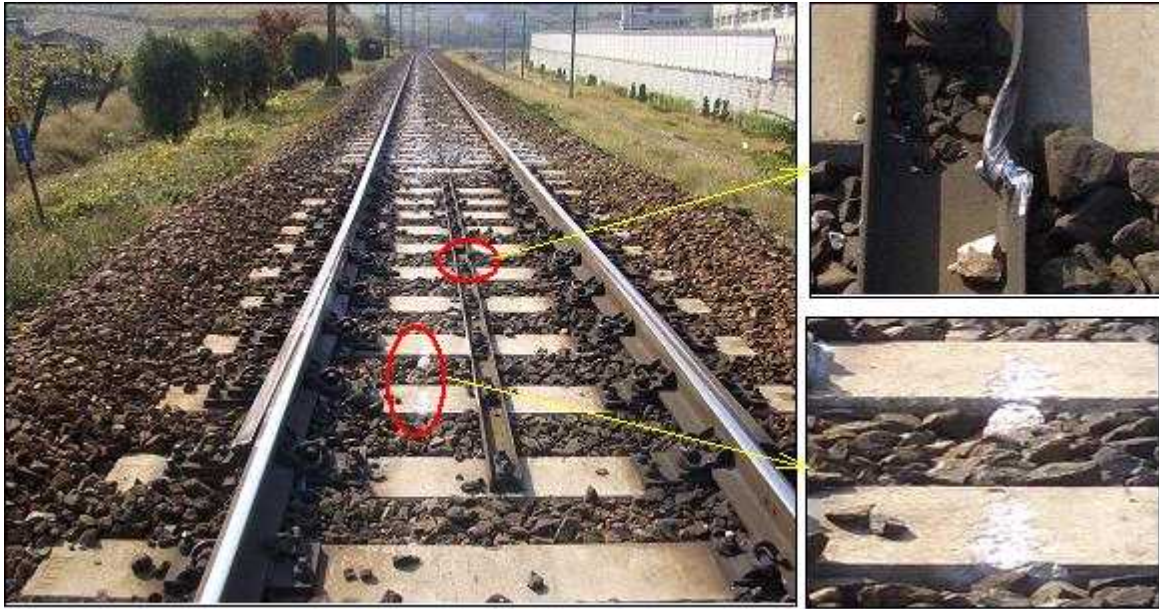


그림 3. 탈선 흔적

- 그림 4와 같이 최초 탈선 지점으로부터 약 37m 지점 우측 하단부에서 탈선 화차 후부대차에서 파손되어 분리된 차륜 조각 1개가 발견되었으며, 또한 2개의 차륜 조각이 선로의 좌측 및 우측에서 각각 발견되었다.

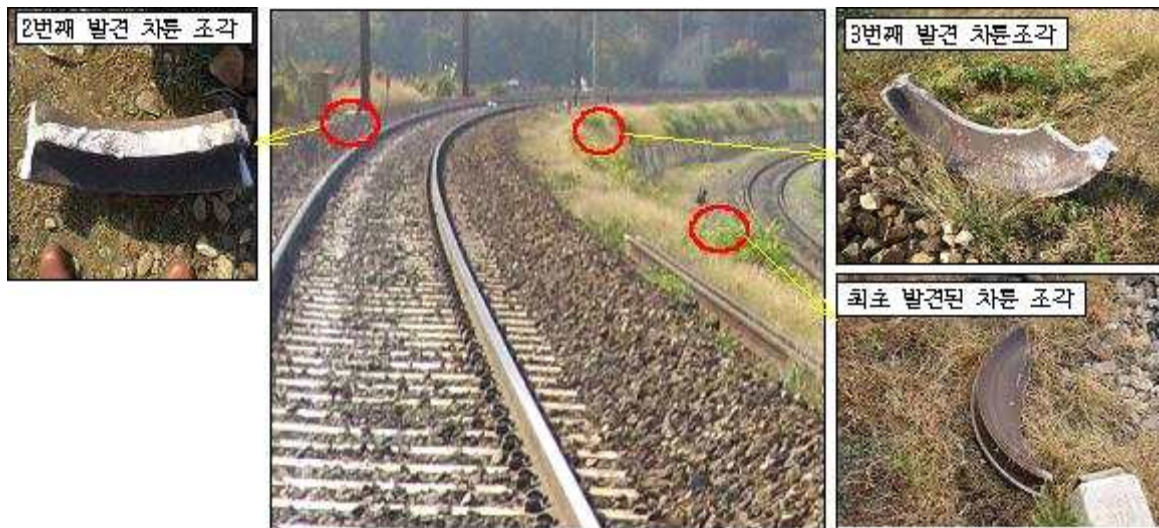
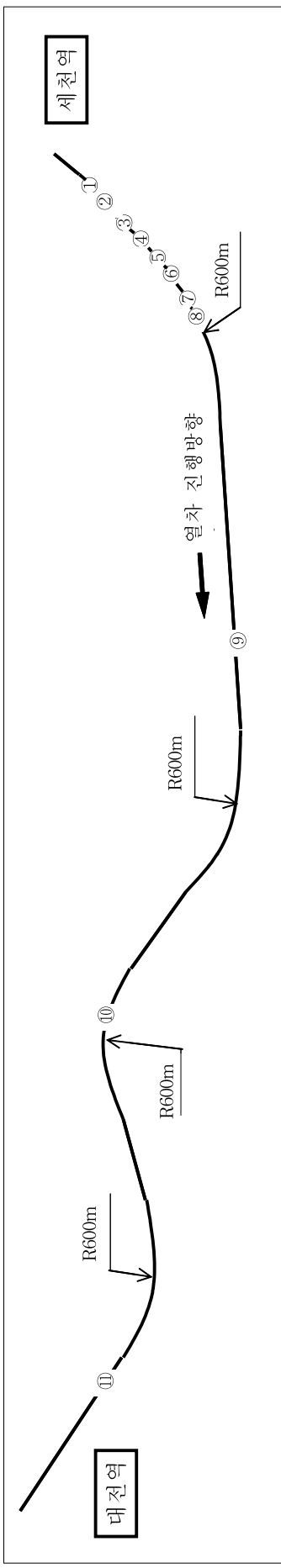


그림 4. 파손 차륜 발견 지점

- 탈선 흔적물 발견 위치는 표 1과 같다.



순	내 용	현 장 상 태	거 리		비 고
			키로정(km,서울기준)	거리(m,누계)	
①	최초 타격흔적	선로 중앙 침목 타격	171.6411	기준점	
②	2번째 타격흔적	선로 중앙 침목 타격	171.6387	2.4	
③	3번째 타격흔적	우측레일 바깥쪽 레일 클립 파손	171.6312	9.9	
④	4번째 타격흔적	선로 내 침목 타격	171.6230	18.1	
⑤	신축레일부 시단부 타격흔적	선로내 좌, 중앙, 우측에 전반적인 타격	171.6147	26.4	
⑥	최초 파손차륜 조각 발견	선로 우측 하단부(하행선 선로 좌측)에서 발견	171.6040	37.1	
⑦	2번째 파손차륜 조각 발견	선로 좌측에서 발견	171.4100	231.1	
⑧	3번째 파손차륜 조각 발견	선로 우측에서 발견	171.2950	346.1	
⑨	침목 훼손	선로 좌측 침목 훼손	169.8000	1,841.1	
⑩	관암 건널목 보판 접촉	좌.우측 진입부 파손 및 보판 굽힘	169.1800	2,461.1	
⑪	신홍 건널목 보판 접촉	좌.우측 파손 및 보판 굽힘	167.5000	4,141.1	
	51A 분기기 진단	좌측 텅레일 파손	167.4150	4,226.1	
	정차	11번째 화차 우측으로 탈선	167.3780	4,263.1	

표 1. 탈선 흔적물 발견 위치

- 이후로 열차가 탈선된 상태로 진행하면서 그림 5와 같이 선로 중앙 콘크리트 침목, 건널목 보판 등에 많은 훼손 흔적을 남겼다.



그림 5. 선로 중앙 침목 및 건널목 훼손 흔적

- 화물열차는 최초 탈선 지점으로부터 약 4.2km를 더 운행하다가 마침내 51A 선로전환기 전단부 텅레일을 파손시키면서 비상제동이 체결되어 정차하게 되었다. 화차의 탈선 위치 및 파손 부품들의 위치는 그림 6과 같다.

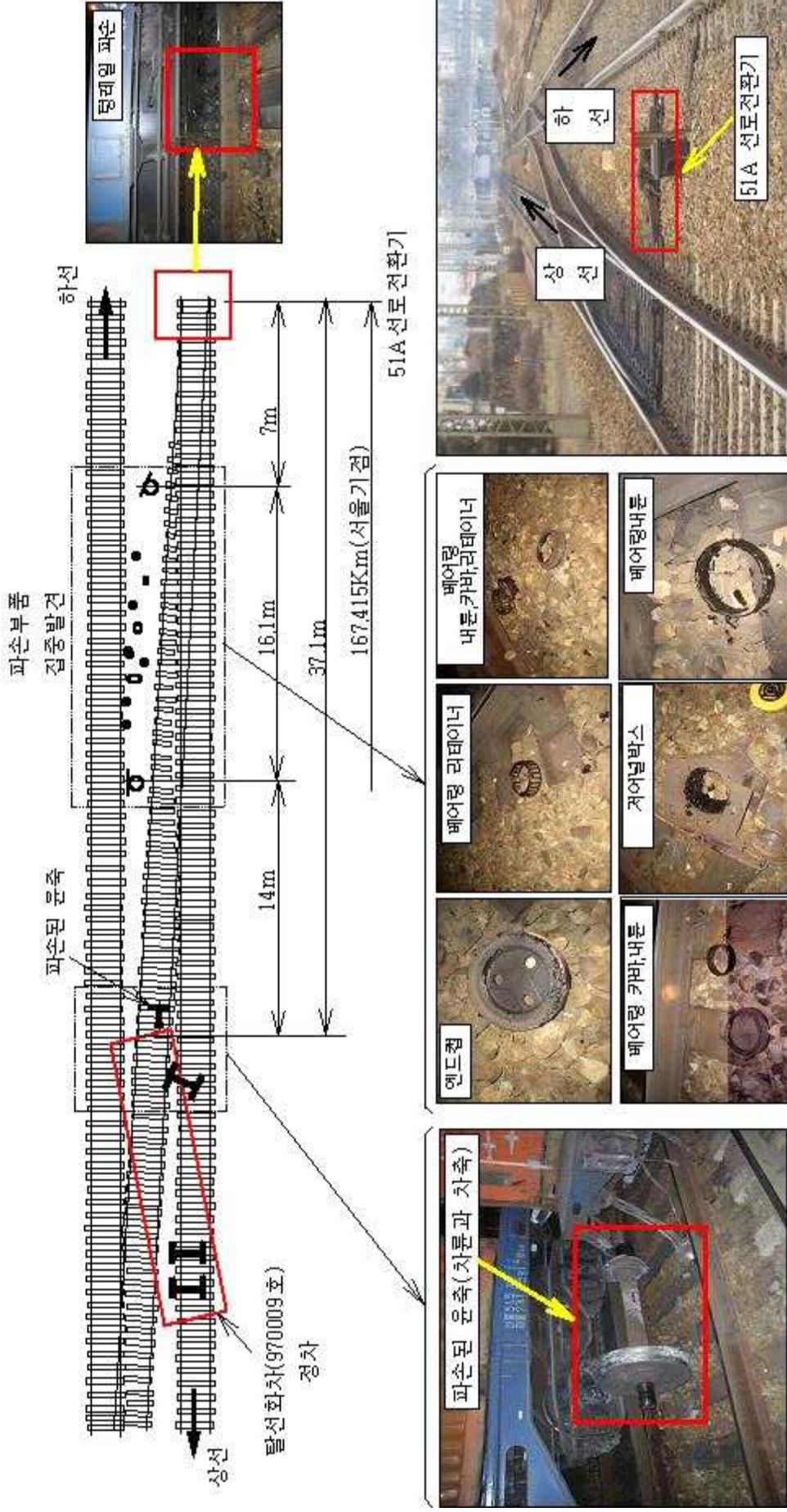


그림 6. 화차 탈선 위치

4. 탈선차량 및 차륜 관찰

4.1 탈선차량 관찰

탈선 화차의 상태는 그림 7과 같이 차체 하부의 골조 및 제동장치 공기배관 일부가 파손되었다.



그림 7. 파손된 차체

대차의 상태를 조사한 결과는 다음과 같다.

- 전·후부대차의 각 차륜에 대해서 치수를 측정된 결과는 표 2와 같다. 변형이 되어 측정이 불가능한 후부대차의 3개 차륜을 제외한 나머지 차륜은 기준 값 이내로 측정이 되었다.

측정 항목	기준값(mm)	차륜 번호							
		1	2	3	4	5	6	7(파손차륜)	8
차륜 직경	860 +0/-92	800	800	801	801	불능	불능	802	불능
플랜지 높이	25 +10/-0	26	26	27	27	불능	불능	27	불능
플랜지 두께	34 +0/-11	33	33	33	33	불능	불능	32	불능

표 2. 차륜 치수 측정

- 후부대차에서 탈락된 부품들을 수거하여 각 부품의 조립 위치에 나열한 다음 부품의 상태를 관찰하였다. 그림 8과 같이 완전히 파손된 1개 차륜을 제외한 나머지 3개의 차륜이 심하게 훼손되었고, 대차 프레임, 제동 빔(Beam), 차축상자(Axle box), 차축 스프링 등 많은 부품이 변형, 파손 또는 유실되었다.



그림 8. 파손된 후부대차

- 대전역 진입 시에 탈선된 탈선 화차의 전부대차는 별다른 이상이 없는 것으로 관찰이 되었다.

4.2 차륜 관찰

파손된 차륜의 형태는 그림 9와 같고, 차륜 조각 3개의 상태를 육안으로 관찰한 결과는 다음과 같다.



그림 9. 파손된 차륜 조각

- 첫 번째 파손된 차륜 조각의 파단면 모서리에서 그림 10과 같이 20mm×27mm크기의 녹이 슨 흔적과 원주 방향의 답면⁽²⁾ 모서리에서 10mm크기의 균열이 관찰되었다.



그림 10. 첫 번째 파손 차륜 조각

(2) 답면(踏面) : 차륜이 회전할 때 레일과 닿는 부분으로서, 제동 제륜자(Brake shoe)에 의한 제동력이 작용되는 면

- 두 번째 파손된 차륜 조각의 측부 파단면 모서리에서 그림 11과 같이 122mm × 5mm 크기의 훼손 흔적이 관찰되었다.



그림 11. 두 번째 파손 차륜 조각

- 세 번째 파손된 차륜 조각은 그림 12와 같이 측부 파단면에서 차륜의 중심 방향으로 파단이 진행된 흔적이 관찰되었다.



그림 12. 세 번째 파손 차륜 조각

- 그리고 차륜이 파손되어 분리되면서 선로의 침목, 레일 등과 충돌하여 생긴 것으로 추정되는 훼손 흔적들이 차륜 조각 3개의 곳곳에서 관찰되었다.

5. 승무원 정보

제3036 화물열차를 운전한 기관사는 2005년 4월 7일자 100만km 무사고 기록을 달성한 21년 7개월의 기관사 경력을 가지고 있었고, 인사기록상 특이한 사항 없었다.

기관사의 운전취급에 관한 교육훈련 기록을 확인한 결과, 운전상황교육(10월 11일 및 27일에 실시), 안전교육(9월 실시), 가을철 중점 안전관리대책 등의 교육을 통해 “사고(장애) 발생 시 승무원 임의로 판단하지 말고 관제사 지시를 받을 것”, “이례사항 발생 시 동력차 승무원 가장 안전한 방법으로 조치”, “차량고장 및 불량내용을 정확히 파악하여 사전 대응체계 구축” 등의 내용을 교육받았음을 확인하였다.

탈선 당시의 상황에 대해서 기관사는 다음과 같이 진술하였다.

- 제3036 컨테이너 화물열차를 운전하여 세천역을 통과한 후 첫 번째 우곡선 지점에서 열차의 후부를 확인해 보니, 열차의 중간쯤 화차 하부에서 마치 제동이 체결(Braking)되었을 때의 현상처럼 불꽃이 튀는 것을 발견하였다.
- 불꽃현상을 발견했을 때 단순한 제동 완해불량(3)으로 판단하여 상용제동(4)을 한번 취급했다가 완해(Release)를 하였는데 역시 불꽃이 발생하여 즉시 비상제동(5)을 취급하여 정차하였다.
- 비상제동 정차 후에 차에서 내려 차량의 상태를 확인하지 않은 것은 대전역이 가까이에 있었고, 차량 상태를 확인하게 되면 후속 열차의 운행에 지장을 준다고 판단하였다.

6. 물적정보

6.1 선로정보

제3036 컨테이너 화물열차가 운행된 경부선 상행 선로는 기관사가 계속적으로 제동을 취급해야만 하는 곡선 및 하구배(下句配)가 많다. 특히, 세천역에서 대전역까지 약 7km 구간은 10/1,000의 하구배가 이어지고, 곡선반경 600m 의 좌곡선 및 우곡선이 번갈아 있다.

레일은 50kgN종 또는 60kgN종의 길이 200m 이상인 장대레일이 이어져 있고, 장대레일 양끝에는 신축이음매가 설치되어 있다.

(3) 완해불량 : 제륜자(Brake Shoe)가 차륜의 담면에서 분리되지 않고 붙어있는 상태

(4) 상용제동(Service Brake) : 평소에 사용하는 제동의 조작 및 작동 상태를 총칭하며, 제동통(Brake Cylinder)의 공기 압력을 높이거나 낮춤으로써 제동력을 조절

(5) 비상제동(Emergency Brake) : 비상시에 사용하는 제동으로써, 미리 설정된 최고의 제동통 공기압력으로 제동력을 발생

6.2 열차정보

제3036 컨테이너 화물열차의 주요 제원은 다음과 같다.

- 열차는 디젤전기기관차 1량 및 화차 21량으로 연결되었고, 편성내역은 표 3과 같다.

조성 위치	차량 번호	출발역	도착역	영공	차중률(6)	차장률(7)	조성 위치	차량 번호	출발역	도착역	영공	차중률	차장률
1	763050	신선대	신탄진	공차	0.5	1.1	12	763005	신선대	조치원	공차	0.7	1.1
2	763187	신선대	신탄진	공차	0.5	1.1	13	763388	신선대	조치원	공차	0.6	1.1
3	70011	신선대	신탄진	공차	0.5	1.0	14	976813	신선대	조치원	공차	0.6	1.4
4	976642	신선대	신탄진	공차	0.6	1.4	15	70334	신선대	조치원	공차	0.5	1.0
5	70536	신선대	신탄진	공차	0.5	1.0	16	70772	신선대	조치원	영차	0.9	1.0
6	70362	신선대	신탄진	공차	0.5	1.0	17	975258	신선대	조치원	영차	0.9	1.4
7	763371	신선대	신탄진	공차	0.5	1.1	18	763155	신선대	조치원	영차	1.0	1.1
8	70747	신선대	신탄진	공차	0.5	1.0	19	763170	신선대	조치원	영차	1.0	1.1
9	976841	신선대	신탄진	공차	0.6	1.4	20	763016	신선대	조치원	영차	1.0	1.1
10	71015	신선대	신탄진	공차	0.5	1.1	21	763210	신선대	조치원	영차	1.0	1.1
11	970009	신선대	조치원	공차	0.6	1.0							

표 3. 열차 편성내역

- 열차의 총 길이 약 351m 이다.
- 열차의 총 중량은 약 609톤으로 기관차 바로 뒤 15량은 화물을 적재하지 않은 공차(空車), 열차 최후부에 연결된 6량은 화물을 적재한 영차(盈車) 상태였다.

제970009호 탈선 화차와 동종의 냉동 컨테이너 화차는 그림 13과 같고, 탈선 화차의 주요 제원은 표 4와 같다.



그림 13. 냉동 컨테이너 화차 및 대차

(6) 차중률 : 열차 운전상의 차량 중량의 단위로 차중환산법에 의하여 환산하여 표시한다. 화차는 43.5ton을 1로 기준
 (7) 차장률 : 차량길이의 단위로서 14m를 1량으로 하여 환산

No	항 목	970009호 냉동 컨테이너 화차
1	제작일자	1997.11.28
2	제작회사	(주)현대정공(현, (주)로템)
3	제작수량	16량
4	소 유 주	(주)삼익종합운수(사유화차)
5	차량길이	14,410 mm
6	차 량 폭	2,332 mm
7	차량높이	1,065 mm
8	자 중	19.5 ton
9	하 중	48.0 ton
10	제어밸브	P4a ⁽⁸⁾
11	제동방식	양압식 ⁽⁹⁾
12	제 료 자	합성제륜자 ⁽¹⁰⁾

표 4. 화차 주요 제원

6.3 차륜정보

파손된 차륜에 대한 정보는 다음과 같다.

- (주)기아특수강(현, (주)세아베스틸)이 차륜의 원소재를 일본 SMITOMO사로부터 수입하여 기계가공을 한 다음, 차량 제작회사인 (주)현대정공(현, (주)로템)에 납품하였다.
- 차륜의 제조일련번호(Serial no.)는 KSS A7B, 제조일자는 '96년 12월로 차륜 표면에 각인되어 있다.
- 차륜의 제조 규격은 당시에 철도용품 표준규격인 KRS 2242-2107을 적용하여 제조하였다.
- '96년 차륜 제조 당시의 시험 및 검사는 (사)한국철도차량에서 담당하였으나, 제조 당시의 차륜에 대한 시험 성적서가 현재 남아있지 않아 재료의 화학성분, 기계적 성질 등 물성값은 확인할 수 없었다.
- 차륜에 대한 규격은 한국산업규격 KS R 9221(철도 차량용 차륜)이 2000년 12월 새로이 제정되어 현재까지 KTX 고속차량을 제외한 모든 철도차량에 이 KS R 9221 규격이 적용되고 있다.

(8) P4a 제어밸브 : 고무막판식 공기압 제어구조의 밸브로 최고속도 120Km/h에 적합하고, 하중변동에 따른 제동력 조절이 가능하다. P4a 제어밸브가 적용된 화차는 현재 2,405량(국내화차 총 13,014량)

(9) 양압식 : 하나의 차륜을 두개의 제륜자로 제동 체결하는 제동방식

(10) 합성제륜자(Composition Brake Shoe) : 비석면계의 재료, 무기질, 금속 등이 배합된, 내마모성 및 마찰소음을 최소화한 제륜자

7. 속도기록

제3036 컨테이너 화물열차의 속도기록을 검토한 결과는 다음과 같다.

- 운행구간을 제한속도인 90km/h 이하의 속도로 운행하였다.
- 표 5에 나타낸 바와 같이, 황간역이후 탈선 지점까지 운행할 때 하구배에서 9회 제동을 취급하였다.
- 세천역을 무정차 통과한 직후에 84km/h의 속도에서 상용제동(Service Brake)을 취급하였고, 약 410m를 더 진행한 후에 71km/h의 속도에서 완해(Release)를 취급하였다. 그리고 곧바로 61km/h의 속도에서 비상제동(Emergency Brake)을 취급하여 약 260m 진행한 후 정차하였으며, 정차 후 27초 후에 재출발하였다.
- 대전역에 진입하면서 탈선의 영향으로 비상제동 체결 정차되었다.

No	구간	일자	도착시간	출발시간	운행거리(Km)		비 고
					속도기록계	누적거리	
1	황간역~세천역	10/27		23:47:29(85km/h)	1,557.140		상용제동 취급
				23:47:49(73km/h)	1,557.605		상용제동 완해
				23:49:09(82km/h)	1,559.265		상용제동 취급
				23:49:35(56km/h)	1,559.800		상용제동 완해
				23:50:54(57km/h)	1,560.895		상용제동 취급
				23:51:23(30km/h)	1,561.275		상용제동 완해
		10/28		00:04:29(77km/h)	1,576.940		상용제동 취급
				00:04:42(66km/h)	1,577.205		상용제동 완해
				00:14:21(85km/h)	1,589.110		상용제동 취급
				00:14:38(76km/h)	1,589.495		상용제동 완해
				00:16:05(84km/h)	1,591.340		상용제동 취급
				00:16:20(83km/h)	1,591.700		상용제동 완해
				00:23:58(78km/h)	1,601.670		상용제동 취급
				00:24:12(74km/h)	1,601.975		상용제동 완해
2	세천역~대전역	10/28		00:26:26(84km/h)	1,604.745	275.39	상용제동 취급
				00:26:44(71km/h)	1,605.155	275.80	상용제동 완해
				00:27:02(61km/h)	1,605.475	276.12	비상제동 취급
				00:27:30(0km/h)	1,605.740	276.38	비상제동 정차
				00:27:57(0km/h)	1,605.740	276.38	재출발
3	대전역	10/28	00:34:16		1,609.065	279.71	탈선으로 정차

표 5. 제3036 컨테이너 화물열차 제동취급 내용

8. 화차 및 차륜 검수실태

제970009호 탈선 화차에 대해 가장 최근에 실시한 검수 종별(2Y, 1Y, 6M, 사업 검수, 수선) 검수기록을 확인한 결과 별다른 이상은 발견되지 않았다. 주요 내용은 표 6과 같다.

No	검수종류	검수소속	검수일자	주요 검수내용
1	사업검수	부산진차량 신선대주재	2006.10.27	- 주행장치 및 제동장치 각부상태 확인
2	6개월검수 (6M)	수색차량 부곡분소	2006.06.19	- 축상발열상태, 윤활유 누유여부 및 윤축 각부상태 점검 양호 - 자동간격가감기 기능 및 제동성능 점검 양호 - 합성제륜자 교환
3	수선	부산차량사업소	2006.03.11	- 제동완해불량으로 입고되어 수선
4	1년검수 (1Y)	부산차량사업소	2005.12.23	- 사이드베어링 유간 및 윤축 각부 점검 조정 - 연결기 높이 점검 조정 - 자동간격가감기 기능 및 제동성능 점검 양호
5	6개월검수 (6M)	대전조차장 조치원차량주재	2005.06.23	- 축상발열상태, 윤활유 누유여부 및 윤축 각부상태 점검 양호 - 자동간격가감기 기능 및 제동성능 점검 양호
6	2년검수 (2Y)	부산철도차량 관리단	2004.12.10	- 주행장치 및 제동장치 각부 분해검수 양호 - 제동통 패킹 교환 - 에어 호스 교환 - 기타 차축 상자 마모판, 제륜자 등 교환

표 6. 검수기록 요약

파손된 차륜의 검수실태를 조사한 결과는 다음과 같다.

- 파손된 차륜은 '04년 12월 10일 실시한 2년검수(2Y)에서 삭정을 하였고, 사고일 현재까지 추가의 삭정없이 운행된 것으로 확인되었다.
- 모든 화차가 윤축별로 이력관리(11)를 하는 관계로 파손된 차륜에 대한 최초 제조 이후 현재까지의 운행거리(km), 삭정회수, 삭정사유 등의 이력은 확인할 수 없었다.
- 6개월검수 이상에서 차륜 각 부분에 대해 측정된 치수의 정확성은 없는 것으로 확인되었다.

(11) 윤축(Wheel and Axle) : 하나의 차축(Axle)에 두개의 차륜(Wheel)이 조립된 상태, 차축(Axle)은 몸통에 Button memory를 설치하여 화차번호, 차축번호, 베어링이력 등을 이력관리하나 차륜은 포함되어 있지 않음

9. 파손 차륜 분석시험

파손된 차륜 조각 3개를 국가공인시험기관인 한국기계연구원에 분석시험을 의뢰하여 분석한 내용을 다음과 같이 요약한다.

- 그림 14에서의 림(12) 부분 모서리의 녹슨 흔적은 노출된 환경에 따라 다를 수는 있지만 다른 부분에 비해 먼저 균열이 생성된 것으로 추정하였다. 파단면에서는 피로파괴의 양상이 관찰되지 않았지만 파괴의 양상이 순간적인 힘에 의한 전형적인 취성 파괴(13)로 균열은 림 부분의 레일 접촉면 모서리로부터 내부로 진행된 것으로 분석하였다.



그림 14. 첫 번째 파손된 차륜 조각 파단면

(12) 림(Rim) : 차륜에서 차륜 접촉면을 포함하는 가장자리 테두리 부분

(13) 취성(脆性)파괴 : 소성변형이 일어나지 않고 상당히 빠른 속도로 균열이 전파되어 파괴되는 현상

※ 소성변형 : 재료에 탄성한계 이상의 힘을 가하여 재료의 외형을 영구히 변형

- 화학성분은 표 7과 같이 차륜의 규격 범위를 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

구 분	탄소 (C)	규소 (Si)	망간 (Mn)	인 (P)	황 (S)
파손 차륜	0.61	0.248	0.735	0.027	0.020
차륜 규격	0.67 이하	0.15 이상	0.60~0.90	0.045 이하	0.045 이하

표 7. 파손 차륜 화학성분

- 레일과 접촉하는 면에서 그림 15와 같이 경도 저하층이 띠를 이루고 나타났으며 규격 범위를 상당히 벗어나고 있는 것으로 분석되었다. 이와 같이 표면의 경도 저하층의 존재는 사용 중 균열을 발생시킬 수 있는 하나의 원인으로 작용할 수 있다. 차륜의 기준 경도치는 브리넬 경도 값이 248~285HB로서, 이를 로크웰C 경도로 환산하면 대략 HRC 24~30HRC 정도이다.



그림 15. 첫 번째 파손된 차륜 조각 파단면

- 림 부분 표면에서 그림 16과 같이 다른 균열들이 발견되었다. 이들 균열은 차륜의 제조 시 표면이 가져야 되는 조직과 다른 조직(14)으로 분석되었는데, 이는 본 소재가 장기간 사용에 따라 조직이 열화된 것으로 추정하였다.



그림 16. 림 부분의 경도 저하층에서 발견된 균열

- 차륜의 파단면을 연마하여 관찰한 결과, 각 부분에서 비금속 개재물(15)이 많이 관찰되었다. 이와 같은 개재물의 존재는 소재의 기계적 성질을 크게 저하시킬 수 있는 것으로 분석하였다.
- 결론적으로 차륜의 손상원인은 장기간 사용에 따른 조직의 열화가 상당 부분 관련된 것으로 추정하였고, 열화 부분에 비금속 개재물이 비정상적으로 많은 경우 다른 차륜과 비교하여 조기 파괴를 초래할 수 있는 것으로 분석하였다.

(14) 차륜 답면 조직 : 차륜 제조 시 답면의 조직은 깊이 25mm까지 브리넬 경도 값이 HB 248~285의 담금질-뜨임 열처리를 한 Tempered Martensite조직이나, 경도 저하층의 조직은 Ferrite가 많은 조직으로 이는 높은 온도에 노출된 후 공냉되는 과정을 겪었음을 추정

(15) 비금속 개재물(Sonims) : 금속 조직중에 개재하는 비금속개재물을 말한다. 철강중에 개재하는 고형체의 비금속성 불순물. 즉, 철, 망간, 규소, 인 등의 산화물, 황화물, 규산염 등이 이에 속한다.

Ⅲ. 분석

1. 탈선 상황

최초 탈선지점의 레일 표면에서 탈선 시에 생길 수 있는 차륜 후렌지의 미끄러짐 또는 타고 오름 등의 흔적이 없었으나, 선로 중앙 콘크리트 침목 모서리에 V자형의 파인 흔적과 선로 우측, 좌측 및 우측에서 각각 차륜 파손 조각 1개씩이 발견되었다. 여기서 선로 조건은 세천역을 통과한 후 10/1,000하구배이고 곡선반경 600m의 우향 곡선부이다.

본 사고는 열차 11량 짝 연결된 컨테이너 화차 후부대차의 오른쪽 차륜에 파손이 발생하였다. 그리고 첫 번째 차륜 조각이 선로에 타격을 가하여 V자형의 파손 흔적을 남겼고, 두 번째 및 세 번째 차륜 조각이 차례로 파손되면서 선로에 타격을 가한 것으로 추정된다.

이때 균형을 잃은 후부대차의 나머지 차륜 3개 중에서 좌측 2개 는 좌측선로 우측으로 우측 1개는 우측선로 우측으로 탈선되었다. 이로부터 열차진행에 따라 콘크리트 침목, 지상자 신호장치, 코일스프링 클립 등 선로상의 많은 시설물을 훼손시켰다.

탈선열차는 최초 탈선 지점으로부터 약 4.2km를 더 운행하였고, 마침내 51A 선로전환기 텅레일을 파손시키면서 비상제동이 체결되어 정차하였다. 그리고 후부대차의 탈락 부품들은 주로 51A선로전환기 약 14m지점 우측에서 발견되었다.

2. 차륜 파손 원인

파손된 차륜 조각을 국가공인시험기관인 한국기계연구원에서 분석 시험한 결과에 따르면, 첫 번째 파손된 차륜 담면 부분의 모서리에서 균열이 시작된 것으로 추정되는 녹슨 흔적이 관찰되었고, 파면 양상은 취성파괴의 형태로 차륜 담면 모서리부분에서 내부로 진행된 것으로 분석되었다.

차륜 답면의 취성과괴는 가혹한 제동에 의해 인장잔류응력⁽¹⁶⁾이 증대되어 답면의 열균열⁽¹⁷⁾로부터 파손되며, 이의 형태는 차륜의 림 부분에서 판(Plate) 부분으로 반경방향으로 진행된다고 하는 것이 기본적인 이론이다.

본 사고에서 속도기록을 살펴보면, 황간역 이후부터 최초 탈선 지점까지 약 55km의 거리는 최대 10/1,000의 상구배 및 하구배, 좌향 곡선 및 우향 곡선으로서 기관사가 85~77km/h의 속도에서 9회 제동을 취급하였다. 이로부터 차륜 답면의 온도가 매우 높게 상승하며, 동시에 차륜 회전에 따른 냉각이 반복되면서 차륜 답면의 인장잔류응력이 증대되었던 것으로 보인다.

탈선화차에 장착되었던 합성제륜자는 대차가 탈선되어 진행되는 과정에서 탈락되었고 선로상에서 발견할 수 없었다.

그리고 차륜 답면 모서리 부분에서 기준 값을 벗어나는 열화에 의한 경도 저하층이 띠를 이루며 형성되었고, 이 부분에서 많은 수직균열 및 미세균열이 관찰되었다. 또한, 차륜의 표면과 내부에서 소재의 제조 과정에서 유래된 것으로 보여지는 비금속 개재물이 비정상적으로 많이 발견되었다. 이러한 균열 및 개재물은 차륜과 같은 고강도강의 경우에 사용 중 갑작스런 균열진전에 의한 파손의 원인이 된다.

답면에 발생한 미세균열은 제륜자에 의해 제거되거나 또는 차륜 삭정 시에 대부분이 제거되나, 제거되지 않고 남아 있으면 인장잔류응력에 의해 균열이 진전되어 결함으로 이어질 가능성이 크다.

열차의 운행 중 차륜에 충격을 줄 만한 요인을 차량편성으로부터 살펴보면 다음과 같다. 편성된 화차 21량 중 기관차를 제외한 앞부분의 15량은 차량 당 중량이 24톤의 공차임에 반하여 뒷부분 6량은 42톤 영차로서, 제동 시 화차의 중량 차이로 인하여 충격이 차륜에 전달되었을 것으로 추정한다.

(16) 잔류응력 : 물체가 외력의 작용을 받았다가 그 외력을 제거할 때 물체내에 남아있는 응력

(17) 열균열(Thermal Crack) : 차륜 답면이 제륜자와의 마찰열로 가열되었다가 냉각되는 과정을 반복하면서 차륜의 답면에 원주방향으로 인장응력이 발생하는데 이 인장응력이 차륜 재질의 파단 강도를 넘으면 차축방향의 균열이 발생하는데 이 균열을 열균열이라고 한다.

또한, 선로분기기 텅레일 이음매 부분 및 장대레일 양 끝단부 신축이음매 부분을 통과할 때의 충격이 발생되었을 것으로 추정한다.

탈선사고 발생 전에 운행구간의 선로 보수작업은 없었던 것으로 확인됨에 따라, 선로 보수작업으로 인한 차륜에 충격을 줄 만한 요인은 없었다.

이상의 분석결과를 종합하면, 차륜의 파손원인은 다음과 같다.

- 장기간 사용에 따른 조직의 열화로 답면 부분의 모서리에서 균열이 발생되었다.
- 반복 사용되는 가혹한 제동으로 인한 인장잔류응력의 증대
- 열화된 부분에 비금속 개재물이 다른 차륜보다 비정상적으로 많음으로 인하여 조기 파괴
- 열차 중간에 공차 편성으로 인한 제동 시 열차 후부 화차로부터의 충격하중 및 레일이음매로부터의 충격하중 발생

3. 선로피해 과다 발생 원인

열차가 세천역과 대전역사이의 구간을 운행하다가 최초 탈선된 후 약 4.2km를 더 운행하여 탈선된 대차에 의해 선로상에 많은 피해를 가져왔다. 대차가 탈선하면서 선로 및 차체 하부에 가한 충격으로 인한 불꽃현상이 발생했을 때, 기관사는 이를 단순한 완해불량으로 판단하였다. 또한 비상제동을 체결하여 정차한 후에도 차량 상태를 확인하지 않고 탈선열차를 그대로 운행함으로써 피해가 더욱 컸다.

화물열차 제동시스템은 기관사가 운전실에 설치되어 있는 제동 제어밸브를 작동시켜 각 화차간에 연결되어 있는 제동관(Brake Pipe)의 공기압력을 감압하면 전체 화차가 기관차 뒷부분 화차부터 순차적으로 제동이 체결 및 완해되는 시스템이다. 대차의 탈선 발생 시 기관사가 이를 감지하여 열차를 임의로 정차시키기 전에는 자동으로 열차가 정지되는 시스템은 갖추어져 있지 않다.

IV 조사결론

1. 탈선 상황은, 제3036 화물열차의 11량 짝 연결된 컨테이너 화차 후부대차의 오른쪽 차륜이 후부 화차 및 레일이음매 충격에 의해 일시적으로 파손되면서 선로에 타격을 가하였고, 균형을 잃은 후부대차는 진행방향 우측으로 탈선되었다.
2. 선로상에 많은 피해를 가한 것은, 후부대차가 탈선되면서 충격으로 인한 불꽃현상이 발생했을 때 기관사가 이를 단순한 완해불량으로 판단하였다. 그리고 비상제동을 체결하여 정차한 후에도 차량 상태를 확인하지 않고 탈선지점으로부터 약 4.2km를 더 운행하여 피해가 컸던 것으로 확인되었다.
3. 차륜 파손의 원인은 다음과 같이 같다.
 - 장기간 사용에 따른 조직의 열화로 답면 부분의 모서리에서 균열이 발생되었다.
 - 반복 사용되는 가혹한 제동으로 인한 인장잔류응력이 증대되었다.
 - 열화된 부분에 비금속 개제물이 다른 차륜보다 비정상적으로 많음으로 인하여 조기 파괴
 - 열차 중간에 공차 편성으로 인한 제동 시 열차 후부 화차로부터의 충격하중 및 레일이음매로부터의 충격하중 발생

V 안전권고

한국철도공사에 대하여 다음과 같이 권고한다.

1. 열차 운행 중 이상 징후 발견 시 상태를 파악하고 안전조치 후 운행할 수 있도록 응급 상황별 대응 매뉴얼 마련 및 기관사 교육을 실시할 것
2. 화차의 탈선 시 이를 감지하여 열차를 자동으로 비상제동 정지시킬 수 있는 **탈선 안전시스템**을 구축할 것.
3. 윤축에 대한 선진외국 검수방법을 벤치마킹하고 차륜의 검수이력, 삭정이력, 제조롯트(Lot) 등에 대한 효율적인 관리체계를 구축할 것.
4. 현재 사용되고 있는 차륜의 열화상태를 진단하고, 열화에 대한 안전기준을 마련하여 차륜검수를 강화할 것
5. 차륜 답면의 미세균열을 제거하고 진전을 방지할 수 있도록 차륜에 **균열 제거 제륜자 적용** 등의 기술적인 대책방안을 수립하여 시행할 것

VI. 부록

붙임 자료

1. 기관사 경위서 및 진술서
2. 파손 차륜 분석시험결과

이 붙임의 내용은

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 첨부하지 않았습니다.

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.



항공·철도사고조사위원회

TEL : 02-6096-1043, FAX : 02-6096-1042