

철도사고 조사보고서

한국철도공사

서울메트로 4호선 선로

숙대입구~삼각지역 사이(하행선, 당고개기점 21.790Km)

K9001 전동회송열차(10량)

열차탈선사고

2014. 4. 3.(목) 5시 12분경



2015. 04. 17.



항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제2조에 따라 사고조사가 이루어졌으며, 제25조에 따라 작성되었다.

같은 법률 제1조에서 “항공사고 및 철도사고 조사는 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고 원인을 정확하게 규명함으로써 항공사고 및 철도사고 등의 예방과 안전 확보에 이바지하는데 목적이 있다.” 라고 규정하고 있으며,

또한, 제30조에 따라 “사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정절차 또는 행정쟁송절차와 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. 사실정보	3
1.1 사고경위	3
1.2 피해상황	4
1.2.1 인명피해	4
1.2.2 물적피해	4
1.2.3 기타피해	4
1.3 인적정보	4
1.3.1 사고열차 기관사	4
1.3.2 한국철도공사 수도권서부분부 차량처장	4
1.3.3 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소장	5
1.3.4 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소 차량관리팀장	5
1.4 물적정보	6
1.4.1 차량정보	6
1.4.1.1 사고열차 조성내역	6
1.4.1.2 사고차량의 주요제원	6
1.4.1.3 사고열차 축상베어링의 제원	6
1.4.1.4 사고열차 편성의 검수 현황	6
1.4.1.5 사고차량 차륜 상태	8
1.4.1.6 사고차량 탈선현황	8
1.4.1.7 사고열차의 대차 및 축상 베어링	8
1.4.1.8 사고 당시 축상의 상태	9
1.4.1.9 철도공사 축상 베어링 검수실태	10
1.4.2 선로분야 정보	11

1.4.3 전기 신호 기타분야 정보	12
1.5 기상정보	12
2. 분석	13
2.1 축소(차축발열)차량 이송조치에 대한 분석	13
2.1.1 차량이송을 위한 정비 및 운행협회의 분석	13
2.1.2 한성대입구역 Y선에서의 작업 분석	13
2.2 축상 롤러 베어링에 대한 분석	14
2.3 철도차량 검수현황에 대한 분석	14
2.3.1 철도차량 검수주기의 분석	14
2.3.2 철도차량 검수방법의 분석	14
2.3.3 사고차량의 차륜 측정결과 분석	15
2.3.4 축상과 차축의 분석	15
2.4 사고열차의 운행정보 기록 분석	16
2.5 업무수행사항 분석	17
2.5.1 사고열차 기관사의 업무수행 분석	17
2.5.2 차량관리책임자의 업무수행 분석	17
2.5.3 차량정비책임자의 업무수행 분석	17
2.5.4 차량정비책임자의 업무수행 분석	17
3. 결론	18
3.1 조사결과	18
3.2 사고원인	19
4. 안전권고	20
4.1 한국철도공사에 대하여	20

고장(차축 베어링 발열) 전동차 회송 중 탈선(2014. 4. 3.)

- 차량 운영자: 한국철도공사
- 운행노선 운영자 : 서울메트로 4호선
- 발생장소 : 숙대입구~삼각지역 사이(하행선, 당고개 기점 21.790Km)
- 사고열차 : K9001 전동회송열차(10량)
- 사고유형 : 열차탈선
- 사고일시 : 2014년 4월 3일(목), 5시 12분경

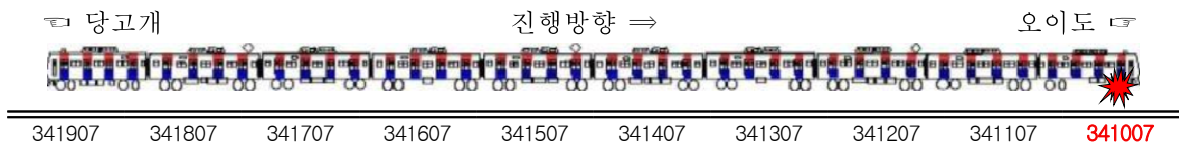


[그림1] 사고열차 복구현장

개요

2014년 4월 2일(수) 11:48경 철도공사 소속 K4568전동열차(오이도역→당고개행)가 과천선 평촌역에 도착할 때 맨 후부 차량(341007호)에서 매연이 발생하여 기관사가 제동기능이 상실되도록 조치시킨 후 서울메트로 관할 4호선 한성대입구역까지 운행 한 다음 유치선에 유치하였다.

2014년 4월 3일(목) 04:45경 시흥차량기지로 이동시키기 위해 K9001열차로 한성대입구역을 출발, 05시 12분경 4호선 숙대입구~삼각지역 사이에서 훼손된 차축의 차륜이 급곡선(R=250m, 우향)을 통과하면서 회전이 원활하지 못하여 발열 축상이 포함된 대차 한 틀이 곡선외측(진행방향 좌측)으로 레일을 타고 올라 [그림2]와 같이 열차진행방향(오이도)으로 보아 첫 번째 객차(341007호) 첫 대차 1, 2번 차축 차륜 4개가 왼쪽으로 궤도를 이탈하였다.



[그림2] 사고열차의 탈선차량 위치

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았으며, 선로와 차량의 축상(Axle Box) 및 차축 등이 손상되었다.

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 원인을 차축발열로 손상된 베어링을 산소절단기로 제거 후 안전조치를 하는 과정에서 대체 베어링을 끼우지 않는 등 안전조치를 하지 않고 이송을 하도록 한 것이 원인이라고 결정하였으며,

이 사고의 기여요인으로는 운행하던 중 차축 베어링이 고착될 경우 고착된 베어링의 제거, 이송을 위한 베어링 삽입 등 어떤 조치를 하여야 이송이 가능한지 또 이송속도는 얼마가 가능한지 판단할 수 있는 기준(메뉴얼)이 마련되어 있지 않고 오직 현장에 출동한 차량팀장 한사람의 감각과 경험에 의한 판단에 의존하게 함으로써 판단의 오류를 범하게 된 것이다.

이 사고조사의 결과에 따라 항공·철도사고조사위원회는 한국철도공사에 4건의 안전권고를 발행한다.

1. 사실정보

1.1 사고경위

2014년 4월 3일(목) 05시 12분경, 한국철도공사의 K9001 전동회송열차(이하 ‘사고열차’라 한다.)가 서울4호선 한성대입구역 Y선¹⁾을 04:45경 출발하여 숙대입구역을 지나 삼각지역으로 진행 중, 첫 번째 객차(341007호, 이하 ‘사고차량’이라 한다)의 앞 대차 1, 2번 차축이 삼각지역 진입하기 전 약 84m지점, 급 곡선(R=250m)에서 열차진행방향의 왼쪽으로 궤도를 이탈하였다.

사고열차 차륜이 궤도를 이탈하면서 선로의 PC침목과 축상이 파손되었다.

[그림3]은 사고열차의 회송출발지점에서 사고지점까지의 경로를 나타내는 그림이다.



[그림3] 사고열차 회송시발지점에서 사고지점까지의 경로

1) Y선이란 출발열차 및 도착열차의 대기 또는 고장열차를 유치하는 선로

1.2 피해상황

1.2.1 인명피해

이번 사고로 인한 인명피해는 발생하지 않았다.

1.2.2 물적피해

탈선으로 인하여 전동차량의 대차 1개, 콘크리트 침목 36개 등이 파손되어 약 3,208만원의 피해가 발생되었다. 다만, 피해액에는 열차지연 등 간접피해 금액의 반영은 되지 않았다.

1.2.3 기타피해

서울 4호선 지하서울역~사당역간 상하행선이 05시 12분부터 06시 37분까지 불통되어 일부열차의 운행을 중단하는 등 63개 전동열차의 운행을 조정하였으며, 승객편의를 위해 6개 열차의 임시열차를 운행하였다.

1.3 인적정보

1.3.1 사고열차 기관사

사고열차 운전을 담당한 기관사(57세, 남)는 1992년 8월 24일 구철도청 서울동차사무소 부기관사로 임용되어 1994년 8월 24일 기관사 발령을 받았으며, 2006년 9월 30일부터 지도운용팀장으로 근무하고 있었다.

기관사는 철도안전법에 따라 교통안전공단으로부터 디젤차량 운전면허(2007. 09. 20) 및 제2종 전기차량 운전면허(2012. 05. 25.)를 취득하였다.

1.3.2 한국철도공사 수도권서부분부 차량처장

수도권 서부분부 차량관리를 총괄하고 있는 차량처장(55세, 남)은 당시 사고복구 책임자로서 1981년 7월 1일 구철도청에 임용되었으며, 2014년 1월 10일부터 사고당시까지 수도권 서부분부에 근무하고 있었다.

최근 교육사항으로는 관리자SE(2014. 07. 31), 사이버 안전보건법(2012. 05. 31)교육 등을 수료하였고 자격사항으로는 기계산업기사 자격증을 취득(1979. 11. 01)하였다.

1.3.3 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소장

시흥차량사업소 차량정비 총괄 및 당시 임시사고복구지휘자인 수도권서부분부 시흥차량사업소 소장(50세, 남)은 1989년 2월 10일 구철도청 검수원으로 임용되었고, 2014년 1월 17일부터 사고당시까지 수도권서부분부 시흥차량사업소에 근무 하고 있었다.

최근 교육사항으로는 사이버 감독관리자(2013. 11. 31), 관리자SE(2013. 04. 19), 사이버 안전보건법(2012. 11. 30)교육 등을 수료하였고, 자격사항으로는 전기기능장(2006. 10. 02), 철도교통안전관리자(2006. 09. 08)자격증을 취득하였다.

1.3.4 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소 차량관리팀장

사고당시 사고복구 담당자인 수도권서부분부 시흥차량사업소 차량관리팀장(52세, 남)은 1979년 12월 22일 구철도청 검수원으로 임용되었고, 2013년 10월 28일부터 사고당시까지 수도권서부분부 시흥차량사업에 근무 중이었다.

최근 교육사항으로는 사이버 준 고속형전기동차 기술(2014. 4. 1), 사이버 관리감독자(2014. 4. 01), 사이버 안전보건법(2012. 3. 31)교육 등을 수료하였고, 철도동력차기관정비기능사(1980. 2. 8)자격증을 취득하였다.

1.4 물적정보

1.4.1 차량정보

1.4.1.1 사고열차 조성내역

사고열차 K9001 전동회송열차는 10량 편성으로 TC(제어차), M(구동차), M'(구동차), T(부수차)차량으로 조성(EC341007~341907)되어 있었다.

1.4.1.2 사고차량의 주요제원

사고차량은 대우중공업(주)에서 1993년 11월 17일 제작되었으며, 사고차량인 TC(제어차)차는 자중 33톤, 차체길이 20m, 차체폭 3.1m, 높이 4.5m이다.

사고차량의 사용전원은 구간에 따라 교류 25kV 60Hz 또는 직류 1,500V를 사용하며, 가변전압가변주파수(VVVF) 인버터(Invertor)에 의한 제어방식으로 회생제동과 공기제동을 사용하고 최고속도는 110km/h, 출력 1,600kW의 전기차량이다.

1.4.1.3 사고열차 축상 베어링의 제원

사고열차의 차량에 사용된 축상 베어링은 130JRT(08)C3 Cylindrical roller Bearing으로 1993년에 제작된 NSK(일본)제품이며, 베어링의 번호는 2A3078 (95-5-297)이고, 기본동적격하중²⁾은 91,500kg, 공칭베어링 허용사용거리는 6,290,000km이다.

1.4.1.4 사고열차 편성의 검수 현황

한국철도공사는 전동차에 대한 기본검수는 경정비3,4. 중정비3,4. 중정비6,8을 실시하면서 2009년 이전 도입차량과 2009년도 도입차량, 2009년 이후 도입차량을 구분하여 실시하고 있었으며, 사고열차 편성에 대한 검수는 한국철도공사에서 규정한 철도차량 유지보수 세칙[표1]에 따라 실시하고 있었다.

2) 기본 동적격 하중[basic dynamic load rating, 基本動定格荷重]

1. 기본 부하 용량(基本負荷容量).
2. 회전 베어링을 사용할 때의 조건을 정하는 하중.
3. 회전 베어링을 운전시킬 때, 정격 수명이 100만 회전이 될 듯한 동적(動的) 정격 하중.

검수종류	약 호	검수기준	비 고
		주행거리	
기본검수	ES	1,500km	2009년도 이전 도입차량
		2,500km	2009년도 도입차량
		3,500km	2010년도부터 도입한 차량
경정비3,4	LI-3	45,000km	2009년도 이전 도입차량
	LI-4	60,000km	2009년도부터 도입한 차량
중정비3,4	GI-3	540,000km	2009년도 이전 도입차량
	GI-4	720,000km	2009년도부터 도입한 차량
중정비6,8	GI-6	1,080,000km	2009년도 이전 도입차량
	GI-7	1,440,000km	2009년도부터 도입한 차량
차륜교환	NWC	차륜 삭정(WC)	
1,600km	-	신규로 전기동차 제작 또는 구입한 차량에 대하여 1,600km 운행 후	
임시검수	T		사업소(경정비) T ₁ , 사업소(중정비) T ₂
특종검수	R		사업소(경정비) R ₁ , 사업소(중정비) R ₂

[표1] 철도차량 유지보수 세칙

사고차량은 1993년 11월 7일 도입되어, 2014년 3월 29일 시흥차량사업소에서 외관상태 등을 확인하는 기본검수(ES)를 실시하였으며, 2014년 1월 9일 시흥차량사업소에서 경정비3(LI-3), 2012년 8월 20일 중정비6(GI-6)를 실시하였고, 사고당일 주행거리는 2,631,942km 이었다.

사고열차의 검수현황은 [표2]와 같다.

차량번호	중정비6(GI-6) (1,080,000만km)	경정비3(LI-3) (45,000km)	기본검수(ES) (1,500km)	사고일
341007	2012. 8. 20. 시흥차량사업소	2014. 1. 9. 시흥차량사업소	2014. 3. 29. 시흥차량사업소	2014. 4. 3.
검사항목	대차 분해검수: 축상 조립 장치	대차틀 및 축상 상태, 볼트 너트의 이완 탈락 유무	대차 및 부속장치: 차륜 및 축상 상태	축상 과열 베어링 교환
주행거리	2,403,700.2km	2,599,441.7km	2,630,053.5km	2,631,942 km

[표2] 사고차량 검수현황

1.4.1.5 사고차량 차륜 상태

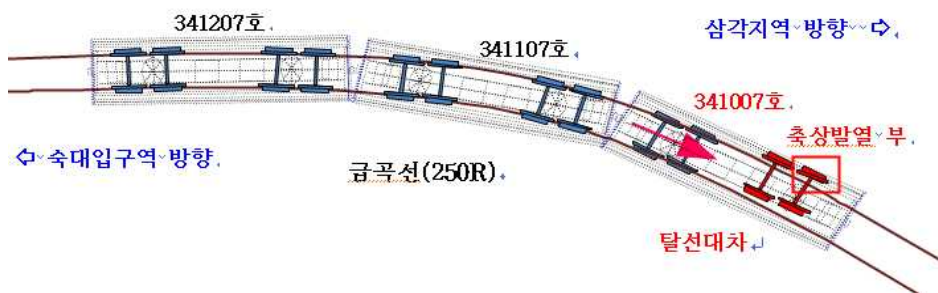
사고차량의 차륜 직경, 플랜지(Flange)두께, 높이 등은 이상이 없었고, 차륜의 측정결과는 아래 [표3]과 같다.

위 수	좌측			우측		
	차륜두께 (22mm이상)	플랜지두께 (25~34mm이내)	플랜지높이 (25~35mm이내)	차륜두께 (22mm이상)	플랜지두께 (25~34mm이내)	플랜지높이 (25~35mm이내)
1축	32.5	27.5	25	32.5	29	26
2축	32.5	28	25.5	32.5	28	25.5
3축	32.5	29	25	32.5	29	25
4축	32.5	27.5	25	32.5	27.5	25

[표3] 341007호 차륜 측정결과

1.4.1.6 사고차량 탈선현황

사고차량은 [그림4]와 같이 삼각지역 방향으로 운행되다가 차축의 차륜이 급곡선(R=250m, 우향)을 통과하면서 회전이 원활하지 못하여 발열 축상이 포함된 대차 한 틀이 곡선외측(진행방향 좌측)으로 레일을 타고 올라 궤도를 이탈하여 탈선되었다.

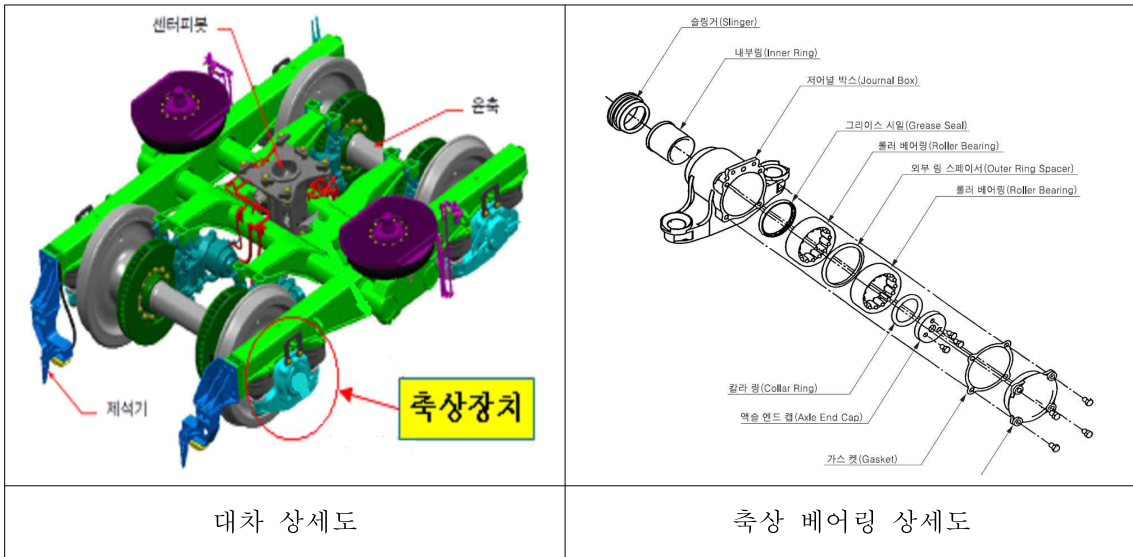


[그림4] 사고차량 탈선상태

1.4.1.7 사고열차의 대차 및 축상 베어링

사고열차의 대차와 축상의 구조는 [그림5]와 같으며, 축상베어링의 구조는 슬링거(Slinger)³⁾, 내부링(Inner Ring), 저어널박스(Journal Box), 롤러베어링(Roller Bearing) 등으로 구성되어 있다.

3) 롤러 액슬박스 안의 기름이 새어나오지 않도록 차축의 먼지막이 시트에 압입하여 끼운링



[그림5] 사고열차의 대차와 축상 구조

1.4.1.8 사고 당시 축상의 상태

사고차량의 341007호 2위 차륜(진행방향 좌측 첫 번째)의 차축베어링이 발열(외측 베어링 부위)된 상태였으며,

[그림6]의 1)과 같이 차축 접지선 및 접지브러쉬 홀더가 탈락되어 있었고, 회송조치 시 마찰방지를 위하여 충진한 그리스가 앤드캡 하부로 [그림6]의 2) 처럼 녹아 흘러내린 상태를 보였고, 차축은 내부에서 다른 부품과의 마찰로 [그림6]의 3)처럼 3개 층으로 변형이 있었으며, [그림6]의 4)에서 보듯이 차축에는 베어링이 없는 상태였다.







[그림6] 사고 축상의 상태

1.4.1.9 철도공사의 축상 베어링 검수실태

한국철도공사 중정비 검사인 중정비 3과 중정비 6의 검수과정에서의 롤러 베어링의 분해조립의 작업절차를 확인한 결과,

차축에 베어링 조립 시는 롤러 베어링의 내륜과 슬링거(Slinger)를 120℃로 열박음을 하고, 차축에 녹방지 도료를 도포하며, 그리스는 알바니아 그리스(EP2) 860g을 충전 하고 있었으며,

베어링의 그리스는 중정비 검사 시 교환을 실시하고, 차축의 베어링 열박음에 있어 설계공차는 130mm를 기준으로 하고 일반적인 중정비 검사 시 조립의 순서는 [그림7]과 같았다. 다만 [그림9]와 같이 앤드캡 취부 및 고정시 정해진 토크렌치를 사용하여야하나 사용하지 않고 있었다.

		
1) 롤러 베어링 세척	2) 축상 볼트 세척	3) 저널박스(Axle Box) 청소
		
4) 저널박스(Axle Box)에 리테이너(Retainer)압입	6) 저널박스(Axle Box)에 윤활유 도포 및 축상 베어링 압입	7) 그리스(Grease) 도포(860g)
		
8) 저널박스(Axle Box) 삽입	9) 앤드캡 취부 및 고정	10) 축상 커버 조립

[그림7] 중정비 검사 시 롤러 베어링 분해 후 조립 순서

1.4.2 선로분야 정보

탈선구간의 궤도조사결과 최초 21.780km에서 차륜이 타고 올라 약 10m 진행한 후, 21.790km지점에서 궤도를 이탈하였고, 이후 약 20m 더 진행한 후 정차 한 것으로 조사되었다.

탈선구간은 급곡선(R=250)으로 궤간에 슬랙이 약 9mm가 설치되어 있었고 궤간은 1,444mm이었다. 유지보수 허용 값(+18, -6mm)을 적용하면 1,462mm~1,438mm로 유지보수 기준 내에 있음을 확인 하였다.

인력측정의 한계를 보완하기 위하여 2014년 4월 4일 01:30~03:00까지 한국철도공사 궤도선형검측기를 사고구간에 투입, 실시한 궤도검측결과는 표4와 같이 선로유지보수기준⁴⁾ 을 만족하였다.

Local defects											
Heading : 삼각지역											
Subheading : 숙대입구역 → 삼각지역 (하선)											
Limits for : AL HI. 1+2,3				Date, Time : 4/4/2014, 1:28,							
KM From To : 21.680000 - 21.821500				Position : Correct							
User text : 삼각지역 숙대입구 → 삼각지역 (21.680~21.820) 하선											
SZ of 1.part: Uniform SZ [일반구간]											
km	Lateral				Vertical						Events
	Alignment		Gauge		Cant	Twist			Top		
	AIL	AIR	Ga	G/m	Cant	3.00	5.00	2.10	TpL	TpR	CT
Lev1	9	9	10 -2	6	9	12.0	7.0	5.9	9	9	50.0
Lev2	12	12	16 -4	7	12	15.0	12.0	6.2	12	12	60.0
Lev3	16	16	18 -6	8	16	21.0	16.0	6.7	16	16	70.0
21.680			5+17.6/2								
21.690			5+17.5/2								
21.700			1+18.3/3								
21.700500											21.700
21.719			1+16.1/2								
21.720000											21.720
21.739750											21.740
21.759250											21.760
21.765							5-9.8/1				
21.770250											차륜이 레일에 올라탄 지점
21.773							4-8.3/1				
21.774750											탈선지점
21.779250											21.780
21.782							12-11.1/1				
21.796			3+12.7/1								
21.800750											21.800
21.808							11-11.6/1				
21.820750											21.820

Evaluated by KORAIL KTX, Korea (KRAB_81) (1) 140404012848.krx Krab SN:303 Printed:2014-04-04

[표4] 궤도선형검측기에 의한 검측결과표

4) 궤도검측차 검측결과 보수단계(※ 시설기술단 선로관리팀-7754, '09.10.12) (단위: mm)

구 분	단계별보수기준	Level 3	Level 2	Level 1
	궤 간		+18 (- 6)	+16 (- 4)
수 평		16	12	7
줄마춤		16	12	7
먼마춤		16	12	7
비틀림		16	12	7

- 궤도검측차 검측결과 보수시기
 - Level 1 : 정상적인 상태로 선로정비시 이값 이내에 들도록 보수함
 - Level 2 : 안전성에 지장이 없으나 틀림의 변화가 진행되므로 보수가 필요한 단계
 - Level 3 : 안전성을 위협하므로 반드시 보수를 시행하여야 하는 단계

1.4.3 전기 신호 기타분야 정보

이번 탈선사고의 원인과 전기 신호 기타분야의 관련성이 없어 사실관계를 파악하지 않았다

1.5 기상정보

2014년 4월 3일 서울기상관측소 자료에 의하면 기온은 10.6℃, 습도 53%, 서풍, 풍속 1.7 ㎞/시, 구름이 많은 날씨였다.

2. 분석

2.1 축소(차축발열) 차량 이송조치에 대한 분석

2.1.1 차량회송 운행을 위한 정비 및 운행협의 분석

지하구간을 운행하는 선로에서 베어링이 고착되는 등 차축이 발열될 경우 터널높이와 상부 전차선 등 구조물 특성상 차체를 위로 들기가 곤란하여 대차 교환이 어렵고, 고착된 베어링 제거를 위해 산소절단기로 절단 등이 필요하여 응급임시조치방법, 이송속도 판단 등을 위한 매뉴얼이 있어야 안전한 의사결정이 이루어질 수 있으나 매뉴얼이나 지침 등이 제정·운용되지 않았다.

당시 사고복구담당자인 차량관리팀장은 현장을 확인했을 때 차축발열로 고착되어 슬링거 및 내부 링을 제거하기 어려워 베어링 삽입이 어렵다고 경험과 감각으로 판단하고 베어링 없이 저널박스만 끼우고 윤활유(그리스)를 도포하면 축상 자체가 상부 차체하중을 지지할 수 있다고 잘못 판단하였다.

차량사업소장과 차량처장은 차량팀장의 경험과 감각에 의한 판단을 아무런 안전조치 확인 없이 수용하였다. 이러한 조치는 조치방법 등에 대한 명확한 매뉴얼이 없는 상태에서 그 동안 경험과 감각에 의존한 조치를 관행으로 해오며 따라 올바른 판단을 할 수 없었다.

2.1.2 한성대입구역 Y선에서의 작업 분석

2014년 4월 2일 21:30부터 익일 01:50까지 한국철도공사의 사고복구반이 한성대입구역 Y선에 출장하여 341007호 2위 차륜(진행방향 좌측 첫 번째)의 베어링을 제거하고 회송조치를 실시한 작업내용을 분석해보면

축상베어링 발열 차축에서 베어링을 제거하면서 저널박스를 산소절단기로 절단, 제거 후 가대차를 설치하는 등 안전조치를 하여야하나 저널박스만 취부하고 작업을 종료(01:50)한 것이 탈선의 직접적인 원인을 제공하였다.

2.2 축상 롤러 베어링에 대한 분석

항공철도사고조사 위원회에서는 베어링의 결함이 이번 탈선사고의 직접적인 원인은 아니나 한성대입구역까지 베어링 발열이 사고에 기여한 점을 고려하여 롤러 베어링의 분석을 실시하였다.

사고열차의 손상된 베어링에 대한 외륜과 실린드리컬 로울러 표면 등을 관찰한 결과 관찰 가능한 부분에서 미세 균열이나 Flaking⁵⁾ 등의 특이사항은 관찰되지 않았으나 전체적으로 용융과 탄화가 심하여 분석이 어려워 더 이상의 정밀분석은 실시하지 않았다.

2.3 철도차량 검수 현황에 대한 분석

2.3.1 철도차량 검수주기 분석

철도공사에서는 사고차량에 대하여 ‘철도차량 유지보수 세칙’에 따라 기본 검수(ES), 경정비3(LI-3) 검수, 중정비6(GI-6) 검수를 주행거리에 따라 정기적으로 실시하고 있었으며,

축상 베어링의 정비는 중정비6(GI-6)검수(‘12. 8. 20)후 228,242km를 운행하여 다음 검수주기가 도래하는 중정비3 검수인 540,000km의 주행거리 내에 있어 검수 주기를 준수하고 있음이 확인되었다.

2.3.2 철도차량 검수방법 분석

중정비3과 중정비6의 검수과정인 공회전시 이상음량 유무, 기름누설유무, 베어링간격의 양부판정, 발청, 손상, 이상마모, 그리스충진, 열화상태 등의 확인과정에서 이번과 같은 베어링의 발열로 인한 고장을 예방할 수 있는 검사방법의 검토가 요구되었다.

차축에 베어링의 앤드 캡(End Cap) 볼트 조임 시 감각과 경험에 업무는 토크렌치를 사용하여 M20볼트를 2,400kgf.cm의 토크로 정확하게 체결하여 균일하중의 조임을 실시하도록 개선이 필요하였다.

5) Flaking이란 베어링이 하중을 받아 회전할 때 내륜, 외륜의 궤도면 또는 전동면의 일부가 구름피로에 의해 비늘모양으로 벗겨지는 손상을 말하며 원인으로는 과대하중, 설치불량, 이물질 또는 수분의 침입, 윤활제의 부적합, 축 및 하우징의 정도불량, 축의 변형, 녹, 부식등이 있다.

2.3.3 사고차량의 차륜 측정결과 분석

사고차량의 차륜을 측정한 결과 차륜의 직경은 790mm(삭정 한도 780mm)이었으며, 플랜지의 높이는 25~26mm(삭정 한도 25~35mm)이었고, 플랜지의 두께는 27.5~29mm(삭정 한도 25~34mm)로 ‘인버터제어 전기동차 유지보수 기준’에서 정한 기준을 준수하고 있는 것으로 확인되었다.

베어링 손상에 영향을 줄 수 있는 차륜의 답면상태를 확인한 결과, [그림8]과 같이 베어링에 영향을 줄만한 차륜 답면의 박리나 찰상은 없는 것으로 확인되었다.



[그림8] 사고차축의 차륜

2.3.4 축상과 차축의 분석

축상 베어링(341007호 1번축 좌측 축상)의 축상 상태를 확인 결과 롤러베어링 조립체는 외측과 내측의 베어링이 모두 손상된 상태였고 외측 베어링의 경우 리테이너가 파손되어 일부 롤러는 외부링(외륜) 몸체로부터 이탈되어 있었고, 일부는 외부링 내부에서 원래의 회전 방향과 어긋난 상태로 남아 있었다.

차축의 경우 한성대입구역 Y선에서 저널박스를 분리하면서 산소절단기로 열을 가하여 열 변형이 있었고, 운행 중 새로 삽입한 저널박스와의 마찰로 [그림9]와 같이 훼손되고 변형되어 있었으며,

또 다시 서울역에서 내부링의 제거와 조립 시 열박음을 실시하여 조직 등의 변화로 차축의 재질분석이 무의미하게 되어 분석실 분석은 생략하였으나 외관상 균열 등 이상은 발견되지 않았다.

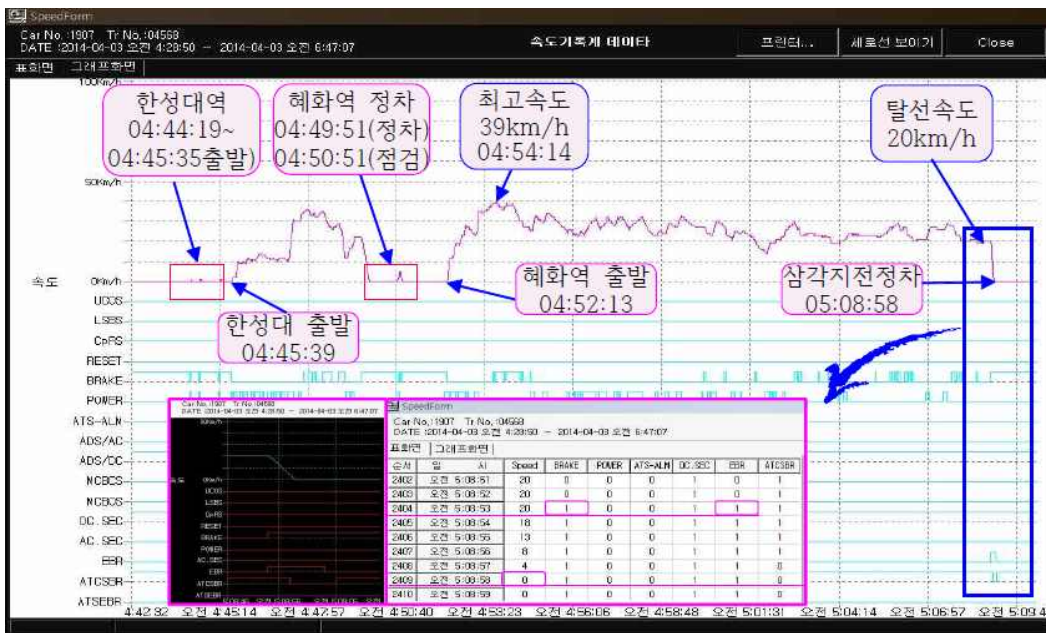


[그림9] 훼손되고 변형된 차축의 상태

2.4 사고열차의 운행정보기록 분석

사고열차는 한성대입구역을 04:45에 출발하여, 약 35km/h까지 속도를 상승시켜 운행하였고, 혜화역에서 매연과 메케한 냄새를 감지한 기관사가 제동을 취급하여 혜화역 구내에서 2회 정차하였다.

혜화역을 출발하여 약 39km/h까지 속도를 상승시켜 운행을 한 후 삼각지역을 접근하면서 약 20km/h까지 속도를 낮춘 상태에서 제동이 체결된 상태에서 5초 후에 열차가 정지(05:08:58, 사고발생)된 것이 [그림10]의 사고열차의 운행정보기록이다.(운행정보기록장치 시각이 GPS시각보다 약 3분 2초 늦은 시각으로 셋팅)



[그림10] 사고열차의 운행정보기록

2.5 업무수행사항 분석

2.5.1 사고열차 기관사(○○○, 57세)

사고열차 기관사는 현장 차량관계자가 60km/h이하로 운전하도록 하였으나 안전을 의식하여 40km/h이하의 속도로 운전하였으며, 혜화역에서는 메케한 냄새와 연기가 피어오르는 것을 감지하고, 차량관계자에게 재확인 하도록한 후 운전을 하는 등 운행정보기록 분석에서도 위배사항은 없었다.

2.5.2 한국철도공사 수도권서부분부 차량처장(○○○, 55세)

차량처장은 사고복구책임자로서 사고열차의 차축발열과 베어링을 제거한 상태로 시흥차량사업소까지 회송한다는 시흥차량사업소장의 보고를 받고 별도의 안전성 검토 없이 그대로 수용하였다.

2.5.3. 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소장(○○○, 50세)

시흥차량사업소장은 인시복구지휘자로서 현장에 출장(2014.4.2.19:07경)하여 복구를 지휘하였으며, 2014. 4. 2. 0:30경 축상 베어링 교체작업의 실패로 베어링을 제거하고 저널박스과 그리스만을 충전하여 운행하기로 결정한 차량관리팀장의 의견을 별도의 안전성 검토 없이 수렴하여 차량처장에게 보고하여 이송을 이행케 하였다.

2.5.4 한국철도공사 수도권서부분부 시흥차량사업소 차량관리팀장(○○○, 52세)

차량관리팀장은 사고차량의 축상 베어링 교체작업을 지휘하였으며, 작업 현장에서 검수원이 차축의 슬링거(Slinger)를 제거하지 못하자, 차축베어링을 끼우지 않고 저널박스 삽입과 그리스만을 충전하면 60km/h속도 이하로 운행할 수 있다고 판단하고 차량사업소장에게 보고 하였다.

3. 결론

3.1 조사결과

- 3.1.1 차축 베어링 발열 시 가대차를 설치하는 등 안전한 조치방법, 이송에 따른 안전성 확인 방법, 상황별 이송속도 등을 판단할 수 있는 매뉴얼이 부재 하였다.
- 3.1.2 차축 발열로 고장차량을 이송하는 결정을 경험과 감각에 의존하여 베어링을 끼우지 않고 저널박스과 그리스만을 충전한 상태로 약 60km/h 속도 이하로 이송하도록 결정하였다.
- 3.1.3 차축 발열 시 판다·조치에 대한 매뉴얼이 없는 상황에서 현장에 출동한 차량처장, 사업소장 등은 경험과 감각에 의존하여 판단한 차량팀장의 결정을 아무런 검토 없이 수용하였다.
- 3.1.4 차량베어링 검수과정을 분석한 결과 검수주기와 주행거리에 의한 정비는 규정에 의한 주기가 준수되고 있었으나, 규정공구인 토크렌치를 사용하지 않는 등 차축발열을 방지하기 위한 축상 베어링의 정비방법의 개선을 위한 검토가 요구 되었다.
- 3.1.5 운행정보 기록을 분석한 결과 기관사는 출발하면서 주의력을 가지고 운전하였으며 혜화역에서는 연기와 메케한 냄새를 감지하고 정차하여 차량관계자의 확인 후 운전을 계속하였고 40km/h이하의 속도 운전하였다.
- 3.1.6 탈선구간은 급곡선(R=250)으로 궤간에 슬랙이 약 9mm가 설치되어 궤간기준 값은 1,444mm로 유지보수 허용 값인 1,462mm~1,438mm의 기준을 만족하였고, 한국철도공사 궤도선형검측기를 사고구간에 투입, 실시한 궤도검측결과 또한 선로유지보수기준을 만족하였다.

3.2 사고원인

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 원인을 차축발열로 손상된 베어링을 산소절단기로 제거 후 안전조치를 하는 과정에서 가대차를 설치하지 않는 등 안전조치를 하지 않고 이송을 하도록 한 것이 원인이라고 결정하였으며,

이 사고의 기여요인으로는 운행하던 중 차축 베어링이 고착될 경우 고착된 베어링의 제거, 이송을 위한 베어링 삽입, 가대차의 설치 등 어떤 조치를 하여야 이송이 가능한지 또 이송속도는 얼마가 가능한지 판단할 수 있는 기준(매뉴얼)이 마련되어 있지 않고 오직 현장에 출동한 차량관계자 한사람의 감각과 경험에 의한 판단에 의존하게 함으로써 판단의 오류를 범하게 된 것이다.

4. 안전권고

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제26조에 따라 2014년 4월 3일 서울메트로4호선 숙대입구~삼각지역간에서 발생한 한국철도공사의 전동열차 탈선사고에 대하여 다음과 같이 권고한다.

4.1 한국철도공사에 대하여

4.1.1 전동열차 등 철도차량의 베어링고착으로 축소된 차량을 이동(회송)하는 경우 안전한 이송을 위한 조치사항, 안전한 이송을 위한 이동속도, 지하구간의 경우 터널·전차선 높이가 있어 대차교환이 어려운 상태에서 조치방법 등을 판단할 수 있는 매뉴얼을 마련하여 운용할 것

4.1.2 지역본부 차량처장, 사업소장과 차량팀장의 업무책임과 권한을 명확히 하고 현장에서 이동속도 등을 판단할 때 단독 결정이 아닌 협의논의 결정이 되도록 관리체계를 구축

4.1.3 중정비 중 차축베어링 조립 시 정해진 토크렌치를 사용할 것.

4.1.4 매뉴얼을 마련한 뒤에는 매뉴얼 내용에 대한 전과교육을 실시할 것.