보고서 번호
ARAIB/R 10- 01

철도 사고조사 보고서

한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.2.15)
한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.3.1)

2010. 6. 8.

국토해양부 항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 ‘항공·철도사고조사에 관한 법률’ 제25조 제1항에 의하여 작성되었다.

동법 제1조에 의하면 철도사고에 대한 조사의 궁극적인 목적은 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고의 예방과 안전 확보에 이바지하는데 있다.

또한 제30조에는 사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 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 이외의 목적으로 사용하여서는 아니 된다.

차 례

Ⅰ. 사고 ····· 1

1. 한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.2.15) ····· 1
2. 한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.3.1) ····· 1

Ⅱ. 개요 ····· 2

1. 사고개요 ····· 2

1.1 H 1161호 새마을열차 탈선('09.2.15) ····· 2
1.2 H 1057호 새마을열차 탈선('09.3.1) ····· 2

2. 조사개요 ····· 2

Ⅲ. 본문 ····· 4

1. 사실정보 ····· 4

1.1 사고경위 ····· 4
1.1.1 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.2.15) ····· 4
1.1.2 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.3.1) ····· 4
1.2 피해사항 ····· 5
1.2.1 인명피해 ····· 5
1.2.2 물적피해 ····· 5
1.2.3 기타피해 ····· 5
1.3 인적정보 ····· 5
1.3.1 H 1161호 기관사 ····· 5
1.3.2 H 1057호 기관사 ····· 6
1.4 현장정보 ····· 7
1.4.1 사고발생 현장 선로상태 ····· 7
1.4.2 사고발생 현장 회송열차 운행 실태 ····· 8
1.4.3 사고발생지점 선로전환기 상태 ····· 10

1.4.3.1 P53A 선로전환기 ····· 10
1.4.3.2 P51A 선로전환기 ····· 10
1.5 물적정보 ····· 11
1.5.1 H 1161호 사고열차 ····· 11
1.5.2 H 1057호 사고열차 ····· 12
1.6 기상정보 ····· 15
1.7 열차운행기록 ····· 16
1.7.1 H 1161호 사고열차 ····· 16
1.7.2 H 1057호 사고열차 ····· 17
1.8 검수기록 ····· 18

2. 분석 ····· 19

2.1 사고열차 운전자의 운전취급 적정여부 분석 ····· 19
2.1.1 H 1161호 기관사의 운전취급 ····· 19
2.1.2 H 1057호 기관사의 운전취급 ····· 19
2.2 서울역북부 선로전환기 유지보수의 적정여부 분석 ····· 19
2.3 사고구간 선로, 차량의 윤중 및 횡압이 탈선에 미치는 영향 분석 ····· 20
2.3.1 선로의 윤중과 횡압이 탈선에 미치는 영향 ····· 20
2.3.2 차륜의 윤중과 횡압이 탈선에 미치는 영향 ····· 24
2.4 사고열차 차륜의 이상여부 분석 ····· 27
2.5 제동취급의 영향 분석 ····· 31
2.6 서울역북부 노반에 선로전환기 배치의 적정여부 분석 ····· 31

3. 결론 ····· 34
3.1 조사결과 ····· 34
3.2 사고원인 ····· 36

4. 안전권고 ····· 37

4.1 한국철도시설공단에 대하여 ····· 37
4.2 한국철도공사에 대하여 ····· 37

철도 사고조사 보고서

Ⅰ. 사고

1. 한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.2.15)

○ 운영기관 : 한국철도공사
○ 운행노선 : 경의선(상행)
○ 발생장소 : 서울역구내(서기 0.577㎞, 서울 중구 봉래동 소재)
○ 사고열차 : H 1161호 새마을회송열차 [동력차 2대와 객차 6량(환산9.5량) 편성]
○ 사고유형 : 열차탈선
○ 사고일시 : 2009.2.15(일) 17:00경

2. 한국철도공사 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.3.1)

○ 운영기관 : 한국철도공사
○ 운행노선 : 경의선(상행)
○ 발생장소 : 서울역구내(서기 0.659㎞, 서울 중구 봉래동 소재)
○ 사고열차 : H 1057호 새마을회송열차 [동력차 2대와 객차 6량(환산9.5량) 편성]
○ 사고유형 : 열차탈선
○ 사고일시 : 2009.3.1(일) 13:10경

Ⅱ. 개요

1. 사고개요

1.1 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.2.15)

2009년 2월 15일(일) 경의선(상행) 수색역에서 출발하여 서울역으로 진입하던 한국철도공사 소속 H 1161호 새마을회송열차가 서울역 진입 중 P53A 선로전환기 부근에서 궤도를 이탈한 후 정차하였다.

1.2 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선('09.3.1)

2009년 3월 1일(일) 경의선(상행) 수색역에서 출발하여 서울역으로 진입하던 한국철도공사 소속 H 1057호 새마을회송열차가 서울역 진입 중 P51A 선로전환기 부근에서 궤도를 이탈한 후 정차하였다.

2. 조사개요

항공・철도사고조사위원회(이하 "위원회" 라 한다.)는 서울역구내에서 새마을회송열차(이하 "사고열차" 라 한다.)가 탈선된 사실을 인지하고 항공・철도 사고조사에 관한 법률 제18조에 의거 다음과 같은 내용의 사고조사 업무를 수행하였다.

사고발생 현장에서 사고경위, 피해사항, 사고열차의 현차상태, 사고현장의 선로상태 및 선로전환기 상태 등을 조사하였고, 사고열차의 운행기록, 운전자의 문답서 등의 사실정보 자료를 확보하였다.

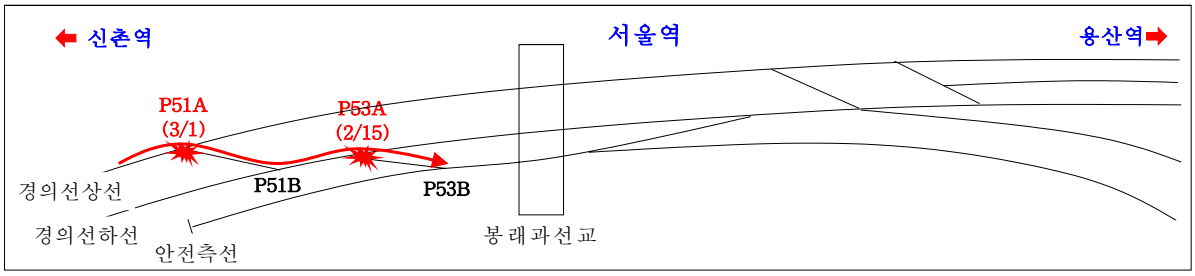
상위 1.1 및 1.2 사고는 서울역구내 북부의 경의선으로 연결되는 상선과 하선 구간의 선로전환기(P53A 및 P51A) 부근에서 발생하였고, 사고장소, 사고열차 종류, 사고유형 등이 유사하여 사고조사 진행 및 보고서 작성을 한건으로 통합하였다.

동 사고의 원인을 규명하고자, 사고열차 운전자의 운전취급 적정여부, 서울역북부 선로전환기 유지보수의 적정여부, 사고구간 선로, 차륜의 윤중 및 횡압이 탈선에 미치는 영향, 사고열차 차륜의 이상여부, 제동취급의 영향 및 서울역북부 노반에 선로전환기 배치의 적정여부를 분석하였다. 이를 토대로 관계기관에 안전권고를 발행하였다.

Ⅲ. 본문

1. 사실정보

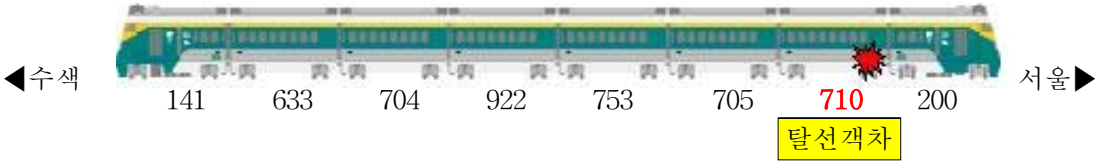
1.1 사고경위



[그림 1] 서울역 사고발생 지점 요약도

1.1.1 H 1161호 새마을열차 탈선('09.2.15)

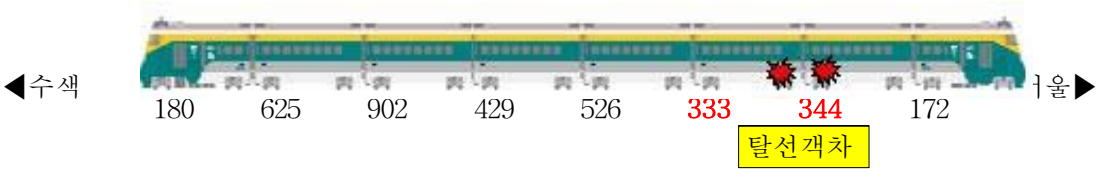
2009년 2월 15일 발생된 H 1161호 사고열차는 새마을회송열차(수색16:49⇒용산17:07)로 17:00경 서울역으로 진입 하던 중 [그림 1] 과 같이 P53A 선로전환기를 지나 앞에서 2번째 차량(710호 객차)의 전부대차가 궤도의 왼쪽으로 이탈하여 정차되었다. 사고열차의 편성은 [그림 2] 와 같다.



[그림 2] H 1161호 사고열차의 편성

1.1.2 H 1057호 새마을열차 탈선('09.3.1)

2009년 3월 1일 발생된 H 1057호 사고열차는 새마을회송열차(수색12:38⇒서울12:52)로 13:10경 서울역으로 진입 하던 중 [그림 1] 과 같이 P51A 선로전환기를 지나 앞에서 2번째 차량(344호 객차)의 후부대차와 3번째 차량(333호 객차)의 전부대차가 궤도의 왼쪽으로 이탈하여 정차되었다. 사고열차의 편성은 [그림 3] 과 같다.



[그림 3] H 1057호 사고열차의 편성

1.2 피해사항

1.2.1 인명피해

이 사고로 인한 인명 피해는 없었다.

1.2.2 물적피해

이 사고로 객차의 제동디스크 및 스프링 등의 일부 파손, 선로전환기 텅레일 및 타이플레이트 교체 등으로 약 2천2백만원의 물적피해가 발생되었다.

1.2.3 기타피해

이 사고로 68개 열차가 지연되었으며, 열차지연에 따라 약 9천4백만원이 승객에게 반환되었다.

1.3 인적정보

1.3.1 H 1161호 기관사

H 1161호 기관사 이OO(30세)은 2000년 2월 7일 철도청에 채용되어 수색기관차승무사무소에서 부기관사로 근무하던 중, 2003년 7월 1일 기관사로 승진하여 사고당일까지 기관사로 근무하고 있었다.

교육이수 사항으로는 2000년 2월 7일부터 2월 18일까지 운전교육, 2002년 9월 24일부터 12월 6일까지 등용기관사 교육, 2004년 8월 2일부터 9월 10일까지 사이버 디젤전기기관차 제동장치와 사이버 차량일반 교육, 2004년 10월 11일부터 11월 19일까지 사이버 신형 전기기관차 8100호 계열 교육, 2005년 3월 7일부터 4월 15일까지 사이버 디젤전기기관차 전기장치 교육, 2007년 4월 9일부터 4월 27일까지 제1종 전기차량 교육 등을 철도인력개발원에서 수료하였다.

포상으로는 2001년 4월 2일 서울기관차 승무사무소장 상장을 받았다.

사고 발생 전 행적은, 기관사 진술에 의하면 2월 13일에는 집에서 휴식을 취하였고, 2월 14일에는 11시경 출근하여 승무 후 19시경 귀가하였으며, 2월 15일 11시 5분경 출근하여 수색에서 용산까지 1회 왕복 운전하고 약 1시간 정도 휴식 후 사고열차 운전을 위하여 16시경 출고 점검을 마치고, 16시 42분경 사고열차를 운전하였다. 열차에 승무하기 전 휴식을 취한 것과 열차운용과장으로부터 받은 출무 및 적합성 검사에서 적합 판정을 받아 열차 승무에는 지장이 없었다.

1.3.2 H 1057호 사고열차 기관사

H 1057호 기관사 김OO(36세)은 1997년 6월 16일 철도청에 채용되어 서울기관차 사무소에서 기관조사로 근무하던 중, 2002년 7월 1일 기관사로 승진하여 사고당일까지 기관사로 근무하고 있었다.

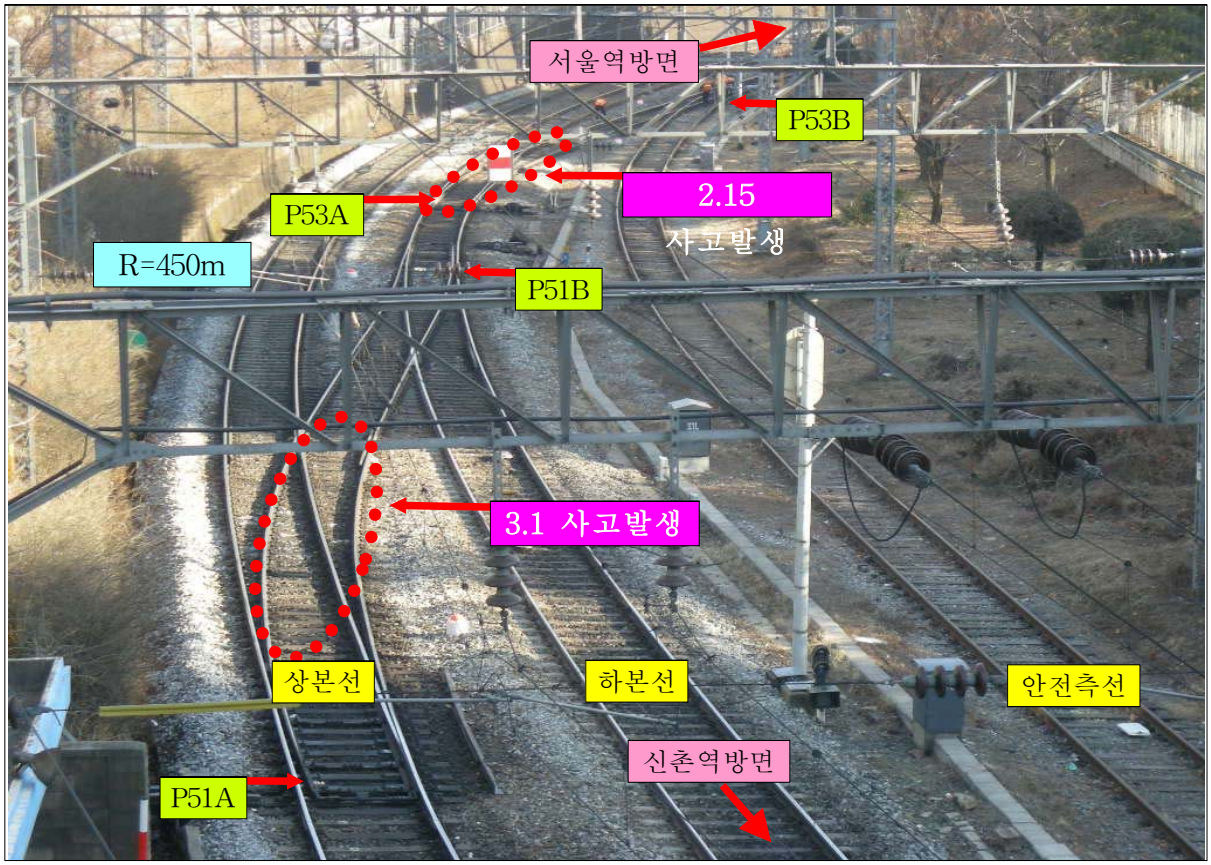
교육이수 사항으로는 2000년 8월 14일부터 11월 3일까지 등용기관사 교육, 2004년 8월 2일부터 9월 10일까지 사이버 객차주행제동장치 및 사이버 차량일반 교육, 2005년 3월 7일부터 4월 15일까지 사이버 디젤전기기관차전기장치 및 사이버 디젤전기기관차제동장치 교육, 2006년 8월 7일부터 8월 25일까지 전기차량 교육, 2008년 9월 22일부터 9월 26일까지 운전보안장치(ATP, ATC, ATS) 교육 등을 철도인력개발원에서 수료하였다.

사고 발생 전 행적은, 기관사 진술에 의하면 2월 27일에는 19시경 승무를 종료하고 귀가하여 2월 28일까지 집에서 휴식을 취하였고, 3월 1일 11시 28분경 출근하여 사고열차의 출고점검 및 제동시험 후 수색역에서 12시 38분 출발예정이었으나, 약 6분 지연한 12시 44분경 출발하였다. 열차에 승무하기 전 집에서 휴식을 취한 것과 열차운용과장으로부터 받은 출무 및 적합성 검사에서 적합판정을 받아 열차 승무에는 지장이 없었다.

1.4 현장정보

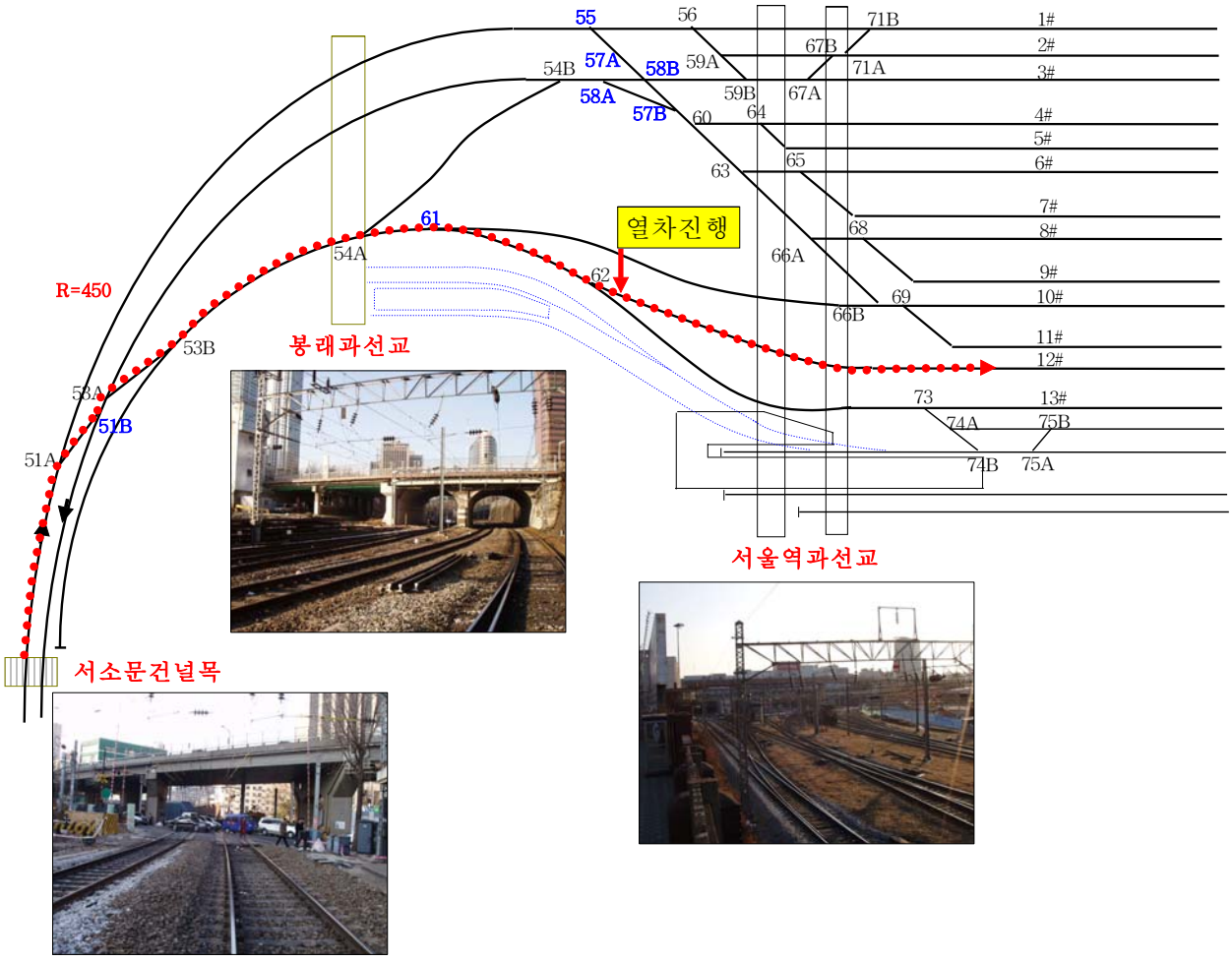
1.4.1 사고발생 현장 선로상태

경의선 서울역북부의 사고현장 선로는 신촌역(서기 3.1㎞)에서 서울역방향으로 10/1,000 정도의 내리막으로 부설되어 있고, [그림 4] 와 같이 곡선반경 R=450m 으로 이루어져 있으며, P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기가 곡선선로상에 연속으로 설치되어 있다.



[그림 4] 사고현장 선로전경

이 구간은 [그림 5] 와 같이 서울역 과선교, 봉래 과선교, 서소문건널목 등이 구내를 횡단함에 따라 선로선형이 복잡하였고, 곡선선로상에 설치된 선로전환기는 특수선로전환기였으며, 열차운행속도는 한국철도공사 열차운전시행세칙에 #10번 편개 선로전환기시 35㎞/h로 제한하고 있으나, 사고현장은 15㎞/h이하로 제한하는 등 구조적으로 취약요인이 상존하는 구간이었다.



[그림 5] 서울역구내 선로요약도

1.4.2 사고발생 현장 회송열차 운행 실태

서울역 북부 사고발생 현장으로 일일 운행되는 회송열차 횟수는 [표 1] 과 같으며, 일반적으로 서울역 진입시 KTX는 1, 2번선으로 새마을호와 무궁화호는 1, 3, 4, 6번선으로 진입하고 있었고, 1, 3, 4, 6번선에 대기 열차가 있을시 부득이하게 10, 11, 12, 13번선으로 진입하는 경우도 일평균 15회 정도 있었다.

사고열차의 운행 실태를 확인한 결과, 2월 15일 H 1161호는 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 통과하여 서울역 12번선으로 진입하려다가 P53A 선로전환기 부근에서 탈선하였고,

3월 1일 H 1057호는 3번선으로 진입예정이었으나, 임시열차 대기로 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 통과하여 서울역 12번선으로 진입하려 하였으나 P51A 선로전환기 부근에서 탈선하였다.

구 분	KTX	새마을호(PP)	무궁화호	화물열차
상행(회)	16	20	52	0
하행(회)	16	20	52	0

[표 1] 서울역 북부 사고발생 현장 회송열차 운행 횟수

사고발생 선로로 운행되는 회송열차의 기관차·객차 길이 및 중량을 확인한 결과 [표 2] 와 같았다.

구 분		KTX	새마을호(PP)	무궁화호	화물열차
길이 (m)	기관차	22.517	23.5	20.778	20.778
	객차	18.7	23.5	23.5	12.5
중량 (ton)	기관차	68	69	132	132
	객차	31	39	40	52

[표 2] 기관차·객차 길이 및 중량

사고발생 선로의 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 통과하여 운행하는 새마을열차와 무궁화열차를 확인해 본 결과, 무궁화열차(기관차+객차)에 비해 길이가 2.72m나 길고, 중량도 64ton이나 가벼운 새마을호 열차가 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 지그재그로 통과할 시 탈선계수(1)가 높아져 플랜지가 레일위로 올라갈 가능성이 높아 보였다.

(1) 탈선계수 : 탈선계수(C)는 수평방향의 힘(Q, 횡압)과 수직방향의 힘(P, 윤중)의 비율(C=Q/P)로 나타내며, Q가 P보다 커지게 되면 차륜이 레일을 올라타거나 뛰어넘어 탈선에 이르게 된다. (Q/P 〈0.8 일 때 안정)

1.4.3 사고발생지점 선로전환기 상태

1.4.3.1 P53A 선로전환기

사고 직후 P53A 선로전환기 상태를 확인한 결과, [그림 6] 과 같이 외관상 충격흔적은 없었으나 선로전환기 텅레일이 파손되어 있었고, 텅레일 교체 후에는 정상적으로 작동되었다.

[그림 6] P53A 선로전환기(좌)와 첨단부 파손으로 교체 된 텅레일(우)

1.4.3.2 P51A 선로전환기

사고 직후 P51A 선로전환기 상태를 확인한 결과, [그림 7] 과 같이 외관상 충격흔적은 없었으나 사고 직후 선로전환기의 텅레일이 본선에서 5㎜이격되어 있었으며, 사고 복구 후 작동상태를 확인한 결과 정상적으로 작동되었다.

[그림 7] P51A호 선로전환기 상태(좌) 및 텅레일 이격 상태(우)

P51A 선로전환기는 유지보수가 지속적으로 이루어짐에도 불구하고 [그림 8] 과 같이 선로전환기 크로싱 부분과 텅레일 부분에 손상이 발생되어 있는 것을 확인하였다.

[그림 8] 선로전환기 크로싱(좌) 및 텅레일 손상상태(우)

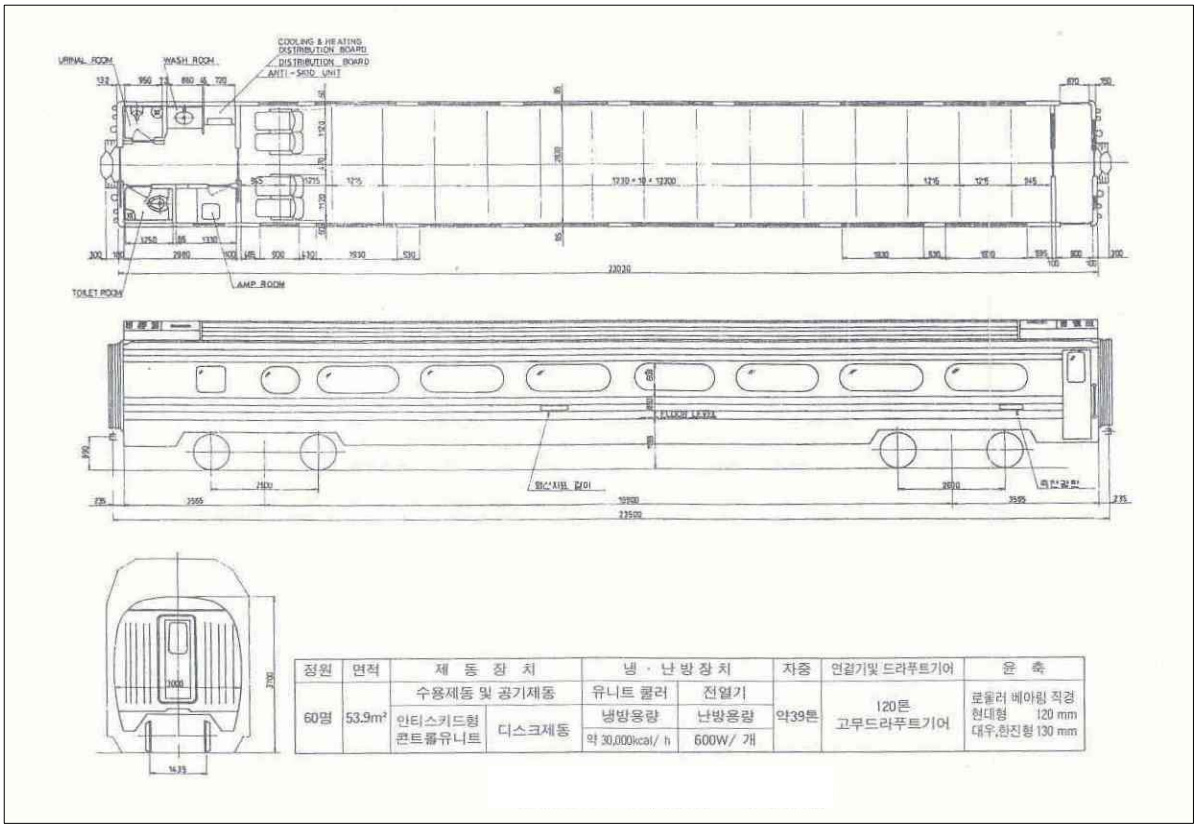
1.5 물적정보

1.5.1 H 1161호 사고열차

H 1161호 사고열차의 편성중량은 각 차량 공차 기준으로 373톤(ton)이고, 사고열차 710호 차량의 주요 제원은 [표 3] 과 같으며 차량 일반도는 [그림 9] 와 같다.

차호	제작사	제작년도	영업일	차량길이 (㎜)	차량폭 (㎜)	차량높이 (㎜)
710	대우중공업 (주)	'93.04.28	도입이후 지속운행	23,500	3,004	3,700
		설계속도	중량(ton) (공차/만차)	대차중심간 거리(㎜)	축간거리 (㎜)	차륜내면 거리(㎜)
		150km/h	39/43.2	15,900	2,500	1353~1356

[표 3] 710호 차량 주요 제원



[그림 9] 710호 차량 일반도

710호 차량 전부대차의 손상상태는 [그림 10] 과 같으며, 대차 이외의 차량 손상은 발견되지 않았다.

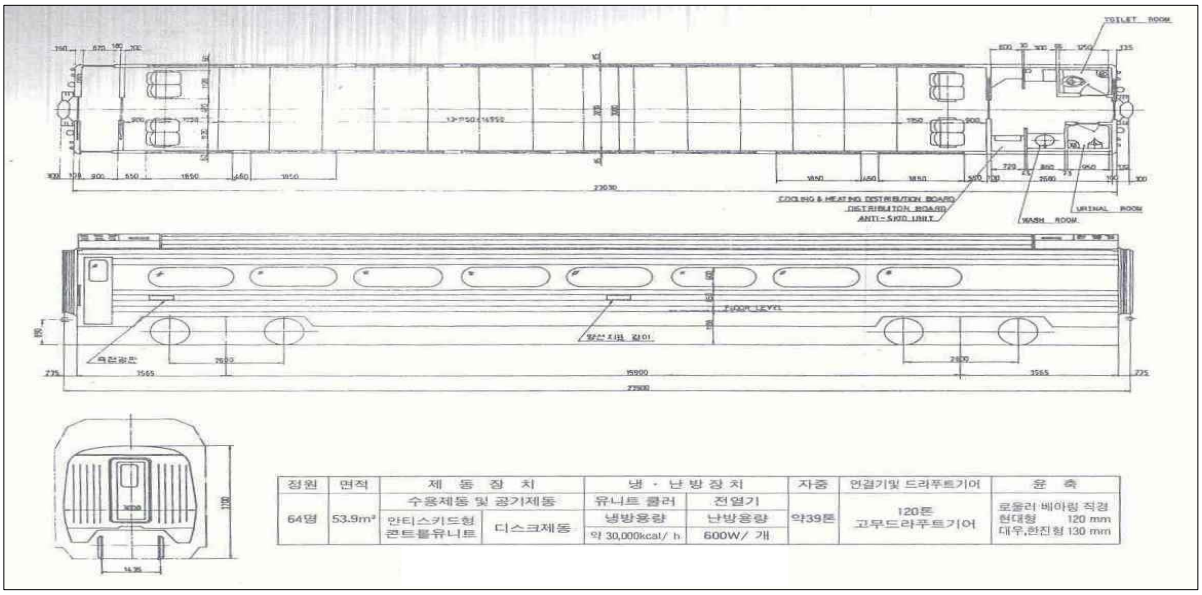
[그림 10] 710호 차량 전부대차 손상상태

1.5.2 H 1057호 사고열차

H 1057호 사고열차의 344호 및 333호 차량의 주요 제원은 [표 4] 와 같고, 차량 일반도는 [그림 11] 과 같다.

차호	제작사	제작년도	영업일	차량길이 (㎜)	차량폭 (㎜)	차량높이 (㎜)
344, 333	대우중공업 (주)	'91.3.27(344호) '89.12.8(333호)	도입이후 지속운행	23,500	3,004	3,700
		설계속도	중량(Ton) (공차/만차)	대차중심간 거리(㎜)	축간거리 (㎜)	차륜내면 거리(㎜)
		150km/h	39/43.2	15,900	2,500	1353～1356

[표 4] 344호 및 333호 차량 주요 제원

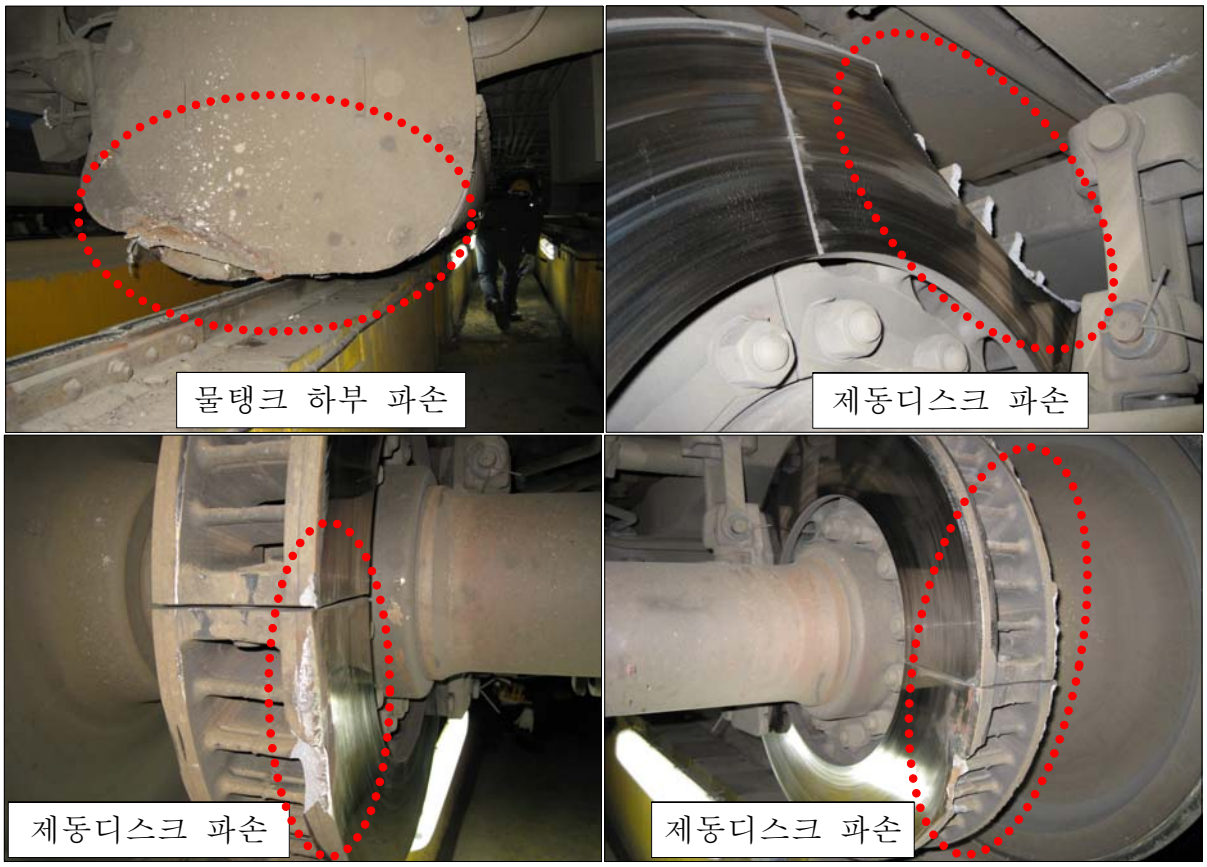


[그림 11] 344호 및 333호 차량 일반도

사고열차 344호 차량은 [그림 12] 와 같이 후부대차의 제동디스크가 손상되었고, 연결장치 하부가 파손 변형되었다.

[그림 12] 344호 차량 후부대차 연결장치 및 제동디스크 손상상태

사고열차 333호 차량은 [그림 13] 과 같이 전부대차의 제동디스크가 부분적으로 손상되었고, 차체 하부 중앙에 위치한 물탱크 하부가 파손되었다.



[그림 13] 333호 차량 전부대차 제동디스크 및 물탱크 손상상태

1.6 기상정보(서울특별시 중구지역)

H 1161호 사고 발생 전일인 2월 14일 날씨는 맑다가 흐렸고, 사고 당일 날씨는 눈이 온 후 개었으며 기온은 최저 -6.4℃, 최고 2.4℃이였다.

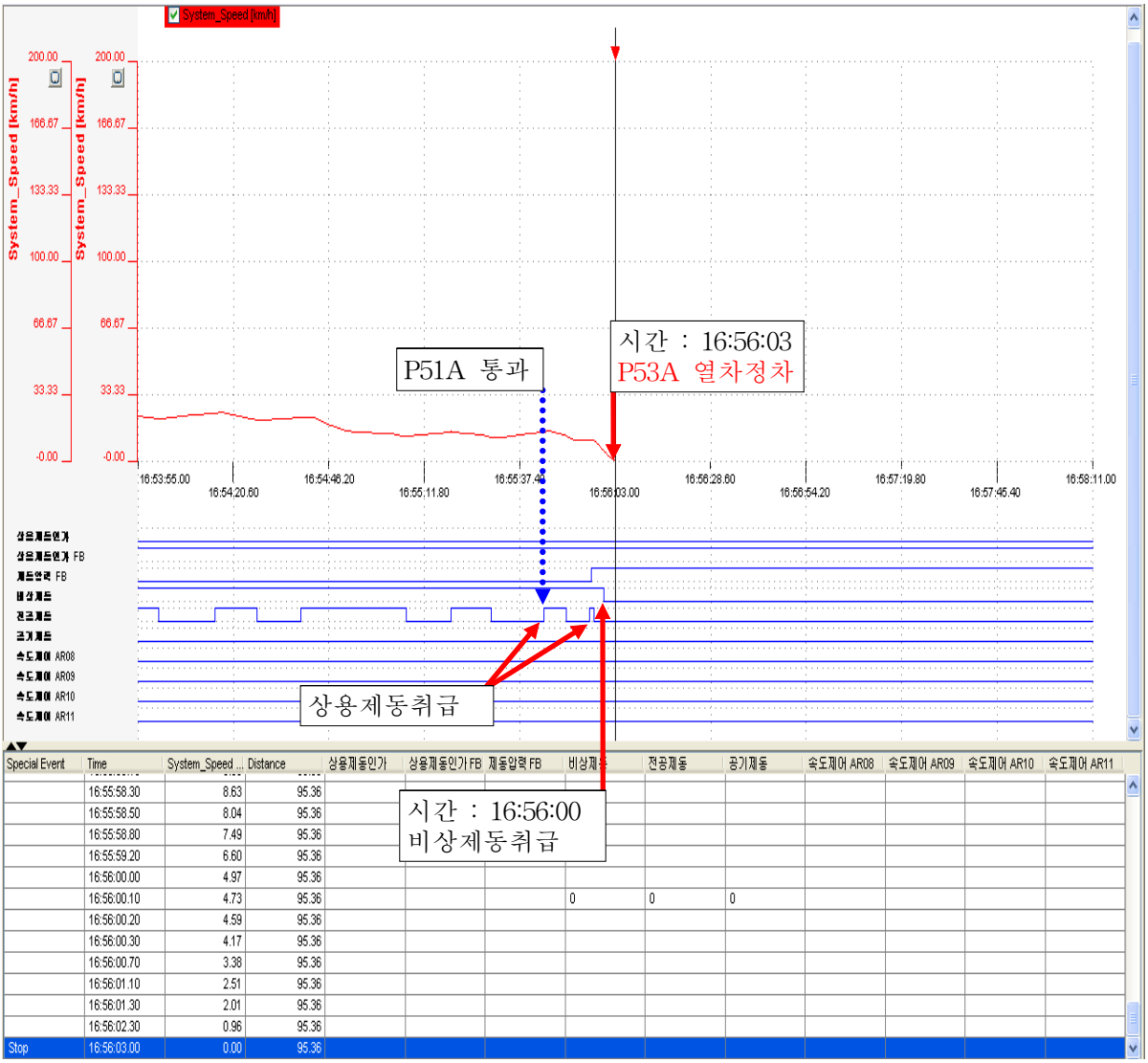
H 1057호 사고 발생 전일인 2월 28일 날씨는 맑다가 흐렸고, 사고 당일 날씨는 맑았으며 기온은 최저 -1.6℃, 최고 8.6℃이였다.

1.7 열차운행기록

1.7.1 H 1161호 사고열차

H 1161호 사고열차의 운행기록을 확인한 결과, 사고열차는 서울역 진입 전까지는 40~60㎞/h 속도로 운행되었으며, 서울역구내 사고발생 지점 부근에서는 [그림 14] 와 같이 5~15㎞/h 속도로 운행되었다.

열차 정차 전 운전취급 내용을 확인한 결과 P53A 선로전환기 통과 시 상용제동을 2회 취급하였고, 16:56:00에는 비상제동을 취급하여 16:56:03에 P53A 선로전환기 부근에서 정차하였다.

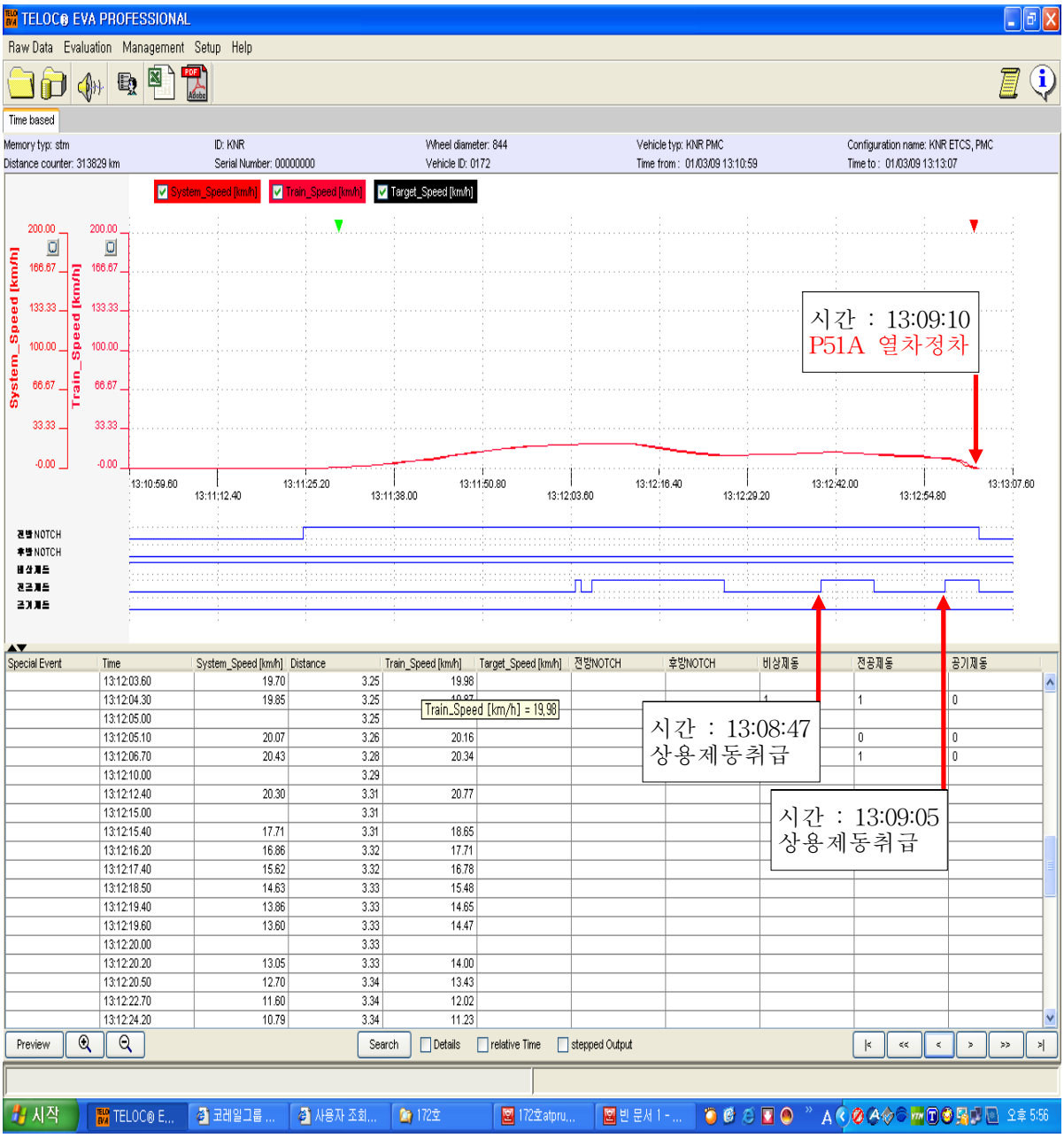


[그림 14] H 1161호 사고열차 운행기록

1.7.2 H 1057호 사고열차

H 1057호 사고열차의 운행기록을 확인한 결과, 사고열차는 서울역 진입 전까지 30~60㎞/h 속도로 운행되었으며, 서울역구내 사고발생 지점 부근에서는 [그림 15] 와 같이 10~20㎞/h 속도로 운행되었다.

열차 정차 전 운전취급 내용을 확인한 결과, P51A 선로전환기 진입 전 2회 상용제동을 취급하였고, 13:09:10에 P51A 선로전환기 부근에서 정차하였다.



[그림 15] H 1057호 사고열차 운행기록

1.8 검수기록

사고열차 객차인 710호(H 1161호 사고열차)와 344호 및 333호(H 1057호 사고열차) 차량의 검수기록은 [표 5] 와 같다.

차호	검수종별	검수일자	검수소속	총주행거리(km)	비고
710	일상검수(D)	'09.02.15	서울차량사업소	1,745,626.3	차륜삭정 후 179,176km 운행
	3개월검수(3M)	'08.12.03	익산차량사업소	1,707,512.5	
	6개월검수(6M)	'08.09.02	서울차량사업소	1,659,052.3	
	2년검수(2Y)	'07.12.06	수도권차량관리단	1,566,450.3	차륜삭정
344	일상검수(D)	'09.03.01	서울차량사업소	2,457,579.1	차륜삭정 후 156,319km 운행
	3개월검수(3M)	'09.02.04	부산차량사업소	2,441,010.2	
	6개월검수(6M	'08.11.24	용산차량사업소	2,394,761.6	
	2년검수(2Y)	'08.07.15	수도권차량관리단	2,301,260.1	차륜삭정
333	일상검수(D)	'09.03.01	서울차량사업소	2,548,311.6	차륜삭정 후 102,954km 운행
	6개월검수(6M)	'09.02.13	부산차량사업소	2,539,456.7	
	1년검수(1Y)	'08.09.25	부산차량관리단	2,445,357.6	차륜삭정

[표 5] 사고열차 객차 검수 기록

탈선사고 후에 탈선차량에 대해서 실시한 특종검수(2) 및 주행시험기(3)를 이용한 주행시험 결과, 차륜 답면을 제외한 차량에서는 이상이 발견되지 않았다.

(2) 특종검수 : 철도사고로 인한 차량의 전반적인 불량상태를 점검하는 검수종별
(3) 주행시험기 : 각 대차당 20분씩 구동(주행조건:80~90km/h)시켜 차축발열상태, 스프링상태, 대차조립상태, 이음상태 등을 점검

2. 분석

서울역구내 새마을열차 탈선사고의 원인을 규명하기 위해 다음과 같은 부분을 집중분석하였다.

사고열차 운전자의 운전취급 적정여부, 서울역북부 선로전환기 유지보수의 적정여부, 사고구간 선로, 차량의 윤중 및 횡압이 탈선에 미치는 영향, 사고열차 차륜의 이상여부, 제동취급의 영향 및 서울역북부 노반에 선로전환기 배치의 적정여부를 분석하였다.

2.1 사고열차 운전자의 운전취급 적정여부 분석

2.1.1 H 1161호 기관사의 운전취급

기관사는 사고구간 운행 시 서울역방면으로 하향구배에 곡선이고, S자 형태이며 15㎞/h 서행구간이어서 역행운전은 하지 않고 제동취급으로 운전하였고, 탈선 후에도 신속히 상황을 조치하는 등 운전취급은 적정하였다고 분석되었다.

2.1.2 H 1057호 기관사의 운전취급

기관사는 서울역 진입 시 장내신호기에 정지신호로 정차 후 서울역 역무과장의 열차운행 무전지시를 받고 열차를 진입시켰으며, 서울역 진입 시 선로가 하향구배이므로 2회 제동취급을 하여 약 10㎞/h 이하 속도로 타력운전 하였고, 탈선 후에도 신속히 상황을 조치하는 등 운전취급은 적정하였다고 분석되었다.

2.2 서울역북부 선로전환기 유지보수의 적정여부 분석

서울역북부 선로전환기 유지보수업무는 한국철도공사 서울지사 서울시설사업소(이하 “시설사업소”라 한다.)에서 담당하고 있었고, 동 구간에는 교량, 선상역사의 교각기둥이 많고 곡선으로 되어 있어 대부분의 선로전환기는 원곡선상에 설치되어 있었다.

또한 열차운행 시 발생되는 진동, 충격, 횡압 등이 곡선부 외측레일에 가해져 텅레일 첨단부가 심하게 마모되어 열차운전에 매우 취약하였다.

이에 시설사업소에서는 서울역북부에 취약 선로전환기를 별도로 선정하여 관리 중이었고, 이번 사고발생 지점인 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기도 취약 관리대상 선로전환기였다.

P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기의 유지보수는 일일, 주별, 월별로 선임장 또는 순회자에 의해 점검·실시되고 있었으나, 하향구배 선로상 설치 및 고속철도 개통 등 열차운행 횟수 증가에 따른 차륜 횡압의 집중으로 텅레일의 잦은 교환(10일~40일 간격 : 일반적인 곡선구간은 약 1년 간격)을 초래하고 있는 것으로 분석되었다.

선로전환기의 유지보수 및 점검, 교체내역을 확인하기 위해 작업 기록내용을 확인한 결과, 작업 기록내용은 선로순회자 및 작업자가 수기로 작성하고 있었고, 선로전환기 유지보수 물품의 입·출고도 불명확하게 기록된 것으로 보아, 작업 기록을 전산화하여 관리할 필요가 있었으며, 선로전환기가 설치되어 있는 선로의 상태(곡선반경, 구배, 선로전환기 위치, 캔트 등)를 기록한 도면 작성 등 정확한 선로자료 관리도 요구되었다.

2.3 사고구간 선로, 차륜의 윤중 및 횡압이 탈선에 미치는 영향 분석

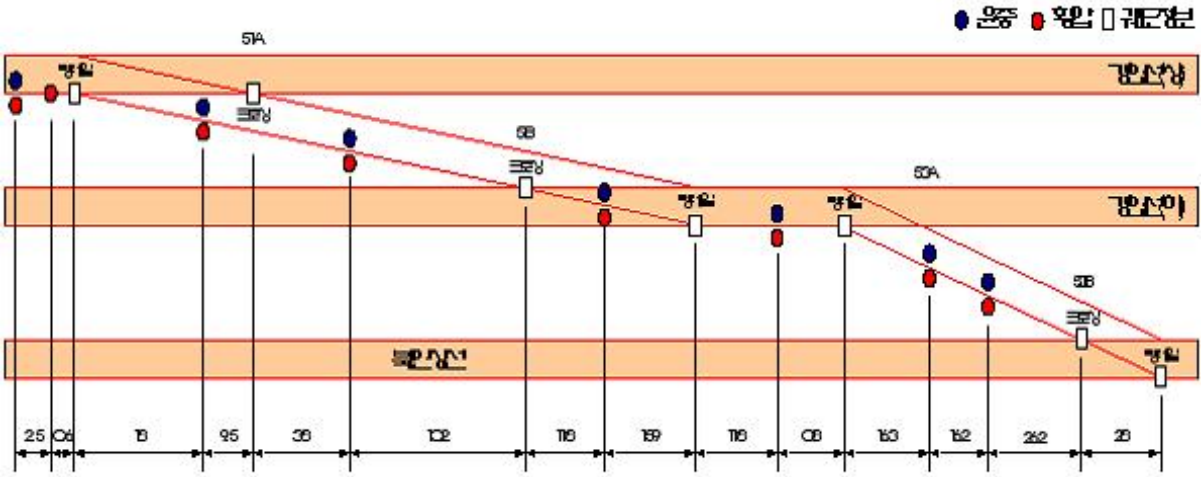
사고구간 선로, 차륜의 윤중 및 횡압이 탈선에 미치는 영향을 분석하기 위해 사고발생 지점의 선로와 사고차량인 새마을열차 객차 차륜에 센서를 부착하여 윤중과 횡압을 측정하였고, 측정 결과를 가지고 탈선에 미치는 영향을 분석하였다.

2.3.1 선로의 윤중과 횡압이 탈선에 미치는 영향

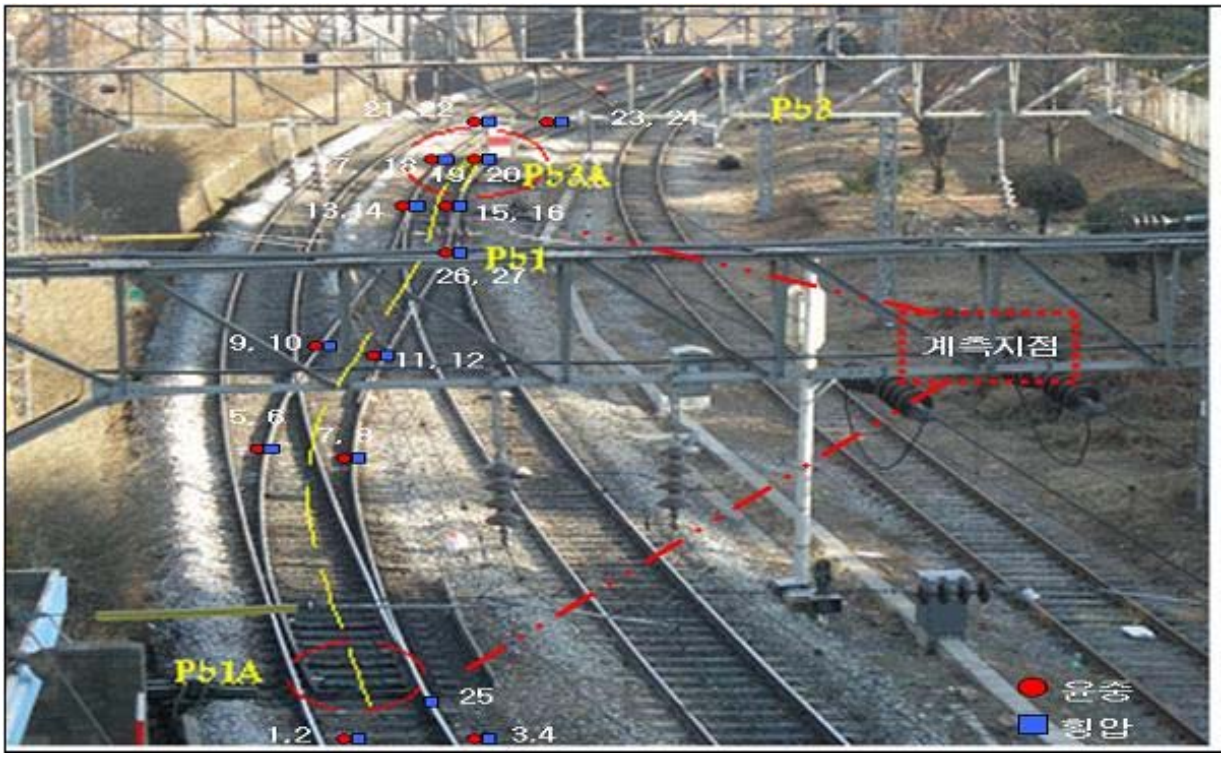
측정선로는 탈선사고가 2회 발생된 구간으로, P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기가 이어져 있다.

[그림 16 및 17] 과 같이 측정선로에 설치한 센서는 총 27개로서 사고 발생된 P51A 및 P53A 선로전환기를 중점적으로, 취약개소라고 판단할 수 있는 텅레일부, 리드부 및 크로싱부에 각각 내·외측 윤중게이지 및 횡압게이지를 설치하였다.

또한 P51A 선로전환기 텅레일부의 내측 횡압과 P53A 선로전환기 근처의 캔트구간 내측 윤중과 횡압을 측정하였다.



[그림 16] 사고구간 선로 센서 설치 현황



[그림 17] 사고구간 현장개요도

측정기 및 센서의 설치 위치는 [표 6] 과 [그림 18 및 19] 와 같고, P51A 선로전환기의 경우 텅레일 지점은 선로전환기와 이음 레일 등으로 인하여 센서 부착이 용이하지 않기 때문에 건널목 방향으로 약 2m 전방 내·외측에 윤중게이지와 횡압게이지를 부착하였다. 이와 더불어 텅레일부의 거동을 보다 정확하게 평가하기 위하여 센서를 가능한 가까운 지점에 추가적으로 부착하여 내측 횡압만을 측정하였다.

선로전환기 번호	위치	센서종류	비 고
P51A	텅레일#1 텅레일#2 리드 크로싱	내·외측 윤중, 횡압 내측 횡압 내·외측 윤중, 횡압 내·외측 윤중, 횡압	윤중 6개소 횡압 7개소
역 캔트구간		내·외측 윤중, 횡압	윤중, 횡압 각 2개소
P53A	텅레일 리드 크로싱	내·외측 윤중, 횡압 내·외측 윤중, 횡압 내·외측 윤중, 횡압	윤중, 횡압 각 6개소

[표 6] 선로전환기별 센서 설치위치

[그림 18] 윤중(좌) 및 횡압(우) 측정기 설치

[그림 19] 선로 센서 설치

[표 7] 과 같이 사고열차의 운행조건으로 시험한 결과 전반적으로 탈선계수 기준치인 0.8 이내로 측정되었다. 상선의 최대 탈선계수는 P51A 선로전환기 리드부에서 0.5로 측정되었으며 이는 제동취급에 의한 영향으로 판단된다. 하선의 최대 탈선계수는 P53A 선로전환기 리드부에서 0.74로 측정되었으며, 이는 P53B 선로전환기 리드부 앞에서 제동 체결된 것이 후부 객차에 영향을 주어 탈선계수가 커진 것으로 분석되었다.

주: ( )최대값

시험열차		P51A 선로전환기						P53A 선로전환기					
		텅레일		리드		크로싱		텅레일		리드		크로싱	
		외측	내측	외측	내측	외측	내측	외측	내측	외측	내측	외측	내측
상선	1-1	0.11 (0.33)	0.21 (0.4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2-1	0.1 (0.25)	0.17 (0.27)	0.17 (0.46)	0.26 (0.37)	0.2 (0.44)	0.3 (0.4)	0.14 (0.16)	0.19 (0.34)	0.17 (0.51)	0.33 (0.54)	0.11 (0.42)	-
	3-1	0.11 (0.28)	0.18 (0.27)	0.18 (0.50)	0.27 (0.41)	0.22 (0.42)	0.33 (0.47)	0.14 (0.17)	0.20 (0.33)	0.18 (0.43)	0.33 (0.43)	0.12 (0.28)	0.21 (0.31)
	4-1	0.12 (0.31)	0.19 (0.31)	0.21 (0.55)	0.28 (0.40)	0.25 (0.49)	0.33 (0.54)	0.13 (0.15)	0.22 (0.37)	0.23 (0.66)	0.35 (0.45)	0.13 (0.32)	0.24 (0.36)
하선	1-2	0.19 (0.4)	0.18 (0.23)	0.16 (0.32)	0.21 (0.35)	0.17 (0.34)	0.21 (0.36)	0.15 (0.18)	0.44 (0.67)	0.32 (0.74)	0.49 (0.69)	0.14 (0.39)	-
	2-2	0.20 (0.42)	0.18 (0.24)	0.18 (0.40)	0.22 (0.33)	0.19 (0.40)	0.23 (0.41)	0.14 (0.16)	0.25 (0.40)	0.21 (0.46)	0.34 (0.45)	0.09 (0.22)	0.25 (0.46)
	3-2	0.22 (0.42)	0.20 (0.26)	0.17 (0.42)	0.25 (0.37)	0.19 (0.45)	0.24 (0.46)	0.14 (0.16)	0.27 (0.40)	0.24 (0.59)	0.37 (0.50)	0.11 (0.28)	0.23 (0.74)

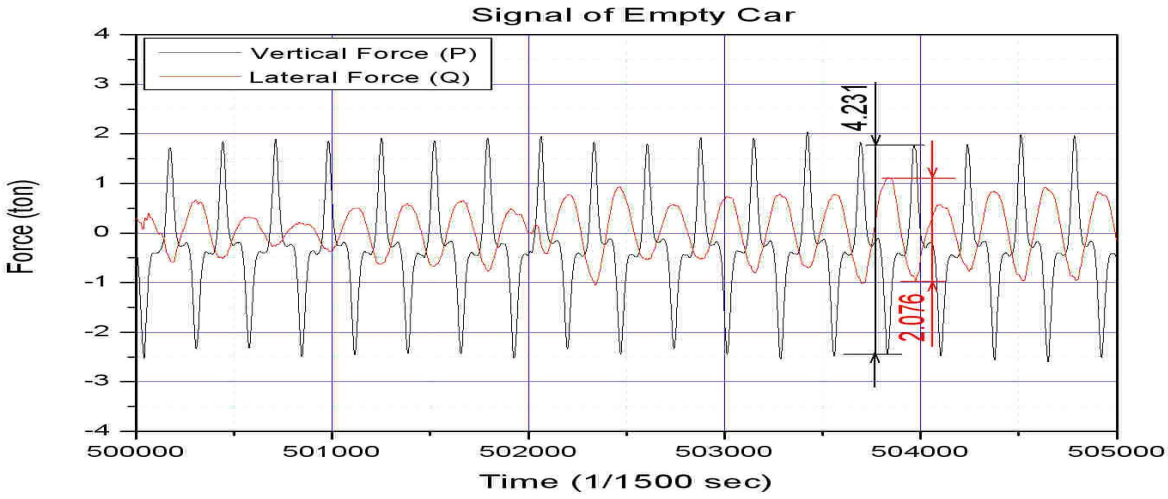
[표 7] 선로 측정결과 탈선계수의 평균값 및 최대값

사고구간의 궤도선형은 곡선부, 선로전환기, 하향구배 등 궤도측면에서 볼 때 매우 취약한 개소이다. 특히 이 구간은 운행속도와 제동의 2가지 문제를 모두 해결하여야 하는 매우 복잡한 문제를 가지고 있다. 제한속도를 유지하기 위해서는 필연적으로 제동이 요구되고, 제동영향으로 인해 선로전환기 취약부분인 크로싱, 리드부의 탈선계수가 증가하는 요인을 가지고 있는 것으로 분석되었다.

2.3.2 차륜의 윤중과 횡압이 탈선에 미치는 영향

[그림 20] 과 같이 측정용 윤축에 부착된 스트레인 게이지의 브릿지 회로 출력은 차륜 1회전에 2개의 파형이 그림 21과 같이 P, Q가 대응하여 나타난다. 여기서 기준선을 정하고 적용목적에 따라 나누어진 구간 중에서 P, Q 파형의 최대치 또는 최소치를 치수 크기로 읽어 교정치와 비교하여 P, Q의 크기를 톤 단위로 환산하고 지점, 속도, 선로상태 등을 확인한다.

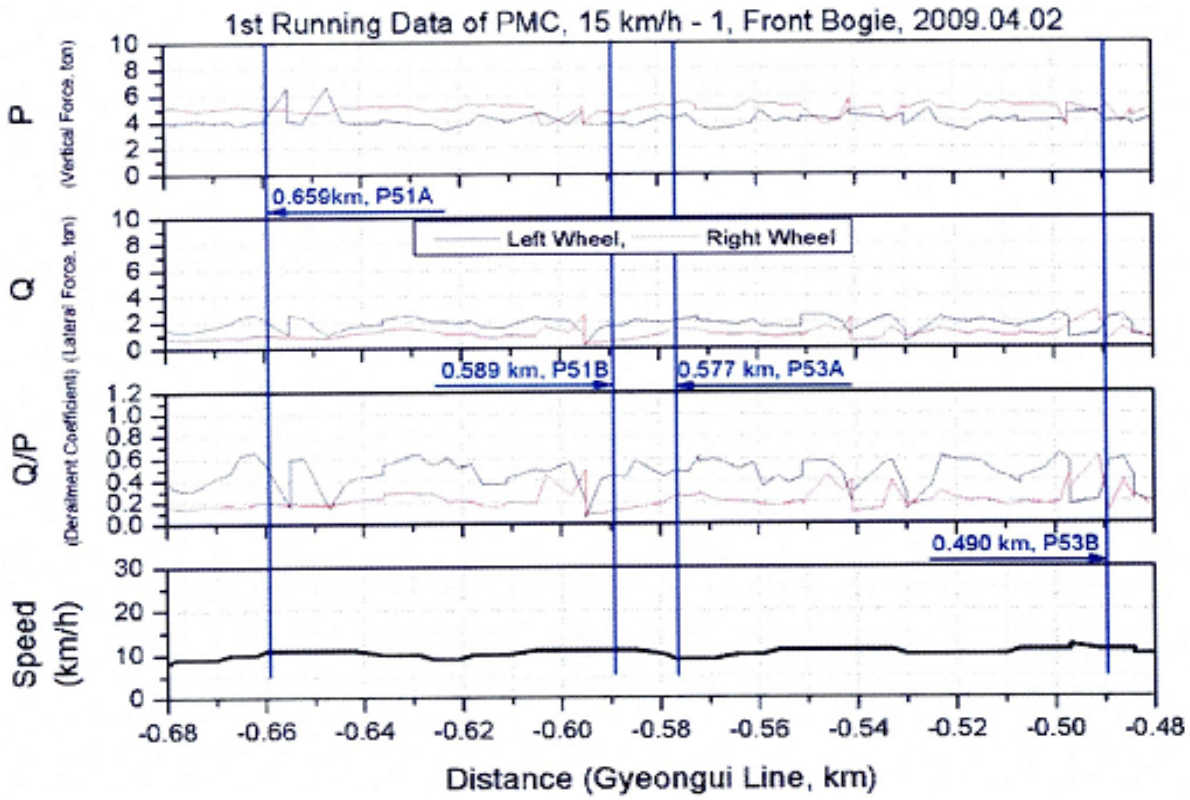
[그림 20] 차륜에 스트레인 게이지 부착



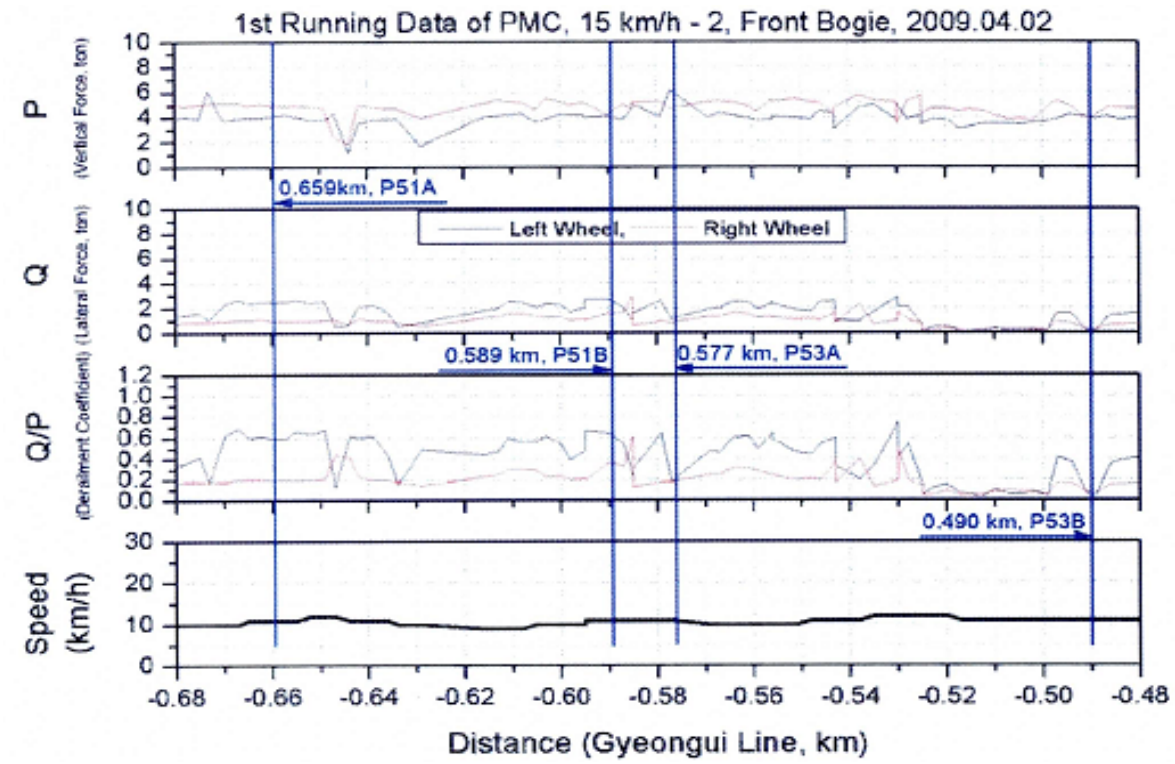
[그림 21] 하중 파형 예

[그림 21] 에서 Q/P의 최대치를 구하면 2.076/4.231 = 0.49가 된다. 이와 같이 하여 윤중(P), 횡압(Q), 탈선계수(Q/P) 등을 기록지에서 읽어 해석하거나 자동처리 장치에서 해석하여 허용기준에 적용함으로써 측정차량의 주행안전성을 판정한다.

차륜의 윤중 및 횡압을 측정하기 위해 사고현장 선로전환기를 15㎞/h속도로 제동을 취급하면서 운행 시험한 결과, [그림 22 및 23] 과 같이 좌측차륜의 횡압이 4톤 정도까지 발생하여 우측 차륜보다 높게 나타났으며, 높은 횡압이 작용할 때 제동취급 등으로 인하여 윤중이 감소하게 되면 탈선계수는 0.9를 초과하여 탈선 가능성이 높아지는 것을 알 수 있었다.

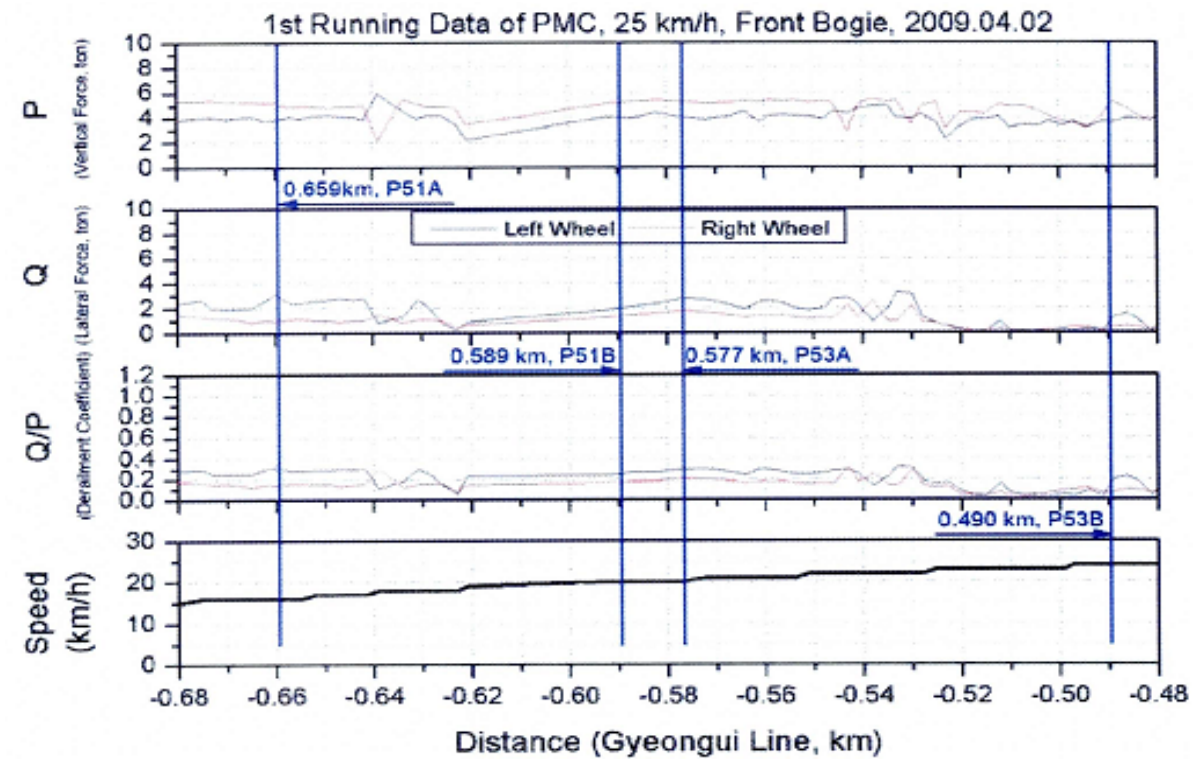


[그림 22] 15km/h 속도 운행 첫번째 시험결과



[그림 23] 15km/h 속도 운행 두번째 시험결과

사고현장 선로전환기를 25km/h 속도로 제동취급 하지 않고 운행 시험한 결과, 15km/h 속도로 제동을 취급하면서 운행할 때 보다 [그림 24] 와 같이 탈선계수는 오히려 낮아지는 것을 볼 수 있었다.



[그림 24] 25km/h 속도 운행시험결과

상기와 같이 운행 시험을 실시한 결과, 서울역북부 사고발생 지점의 선로전환기 통과 시 열차의 제한속도를 낮춘다고 해서 탈선 가능성이 낮아지는 것은 아닌 것으로 분석되었다.

2.4 사고열차 차륜의 이상여부 분석

사고열차 탈선차륜 답면(Tread)을 육안으로 관찰한 결과, 답면에 [그림 25] 와 같이 박리가 발견되었으나, 이는 탈선 후에 차륜이 선로상의 침목, 베이스 플레이트, 자갈 등과 접촉하면서 발생된 것으로 판단된다.

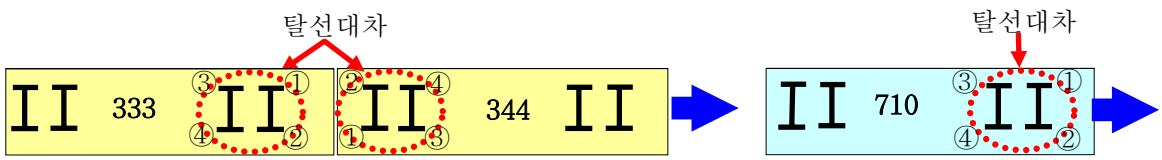
[그림 25] 사고열차 탈선차륜 상태

차륜 답면에 발생한 흠 이외에 차륜의 각 부분이 한국철도공사 객화차 유지보수기준의 허용한도 이내인지를 확인하기 위해 [그림 26] 과 같은 장비를 사용하여 차륜 각 부분 치수를 측정한 결과, 차륜의 삭정 또는 교환이 필요치 않은 마모 허용한도 이내인 것으로 확인되었고 측정값은 [표 8] 과 같다.

<직경 측정 다이얼게이지> <플랜지 측정 게이지> <내면거리 측정 장비>

[그림 26] 차륜 치수 측정 장비

단위(mm)



차륜 위치			①	②	③	④
내면거리	기준		1353 ~ 1356			
	측정	710호	1355		1356	
		344호	1355		1355	
		333호	1355		1355	
차륜 직경	기준		776 ~ 860			
	측정	710호	858	858	859	858
		344호	812	813	813	813
		333호	822	822	821	822
차륜 두께	기준		23 ~ 65			
	측정	710호	65	64	64	65
		344호	41	42	42	42
		333호	46	46	46	46
플랜지 높이	기준		25 ~ 35			
	측정	710호	25.5	26	28	28
		344호	24.7	25	24.8	25
		333호	25	25	25	25
플랜지 두께	기준		23 ~ 34			
	측정	710호	27.5	28	28	28
		344호	29.3	30.5	29.5	31
		333호	28	29	28	29

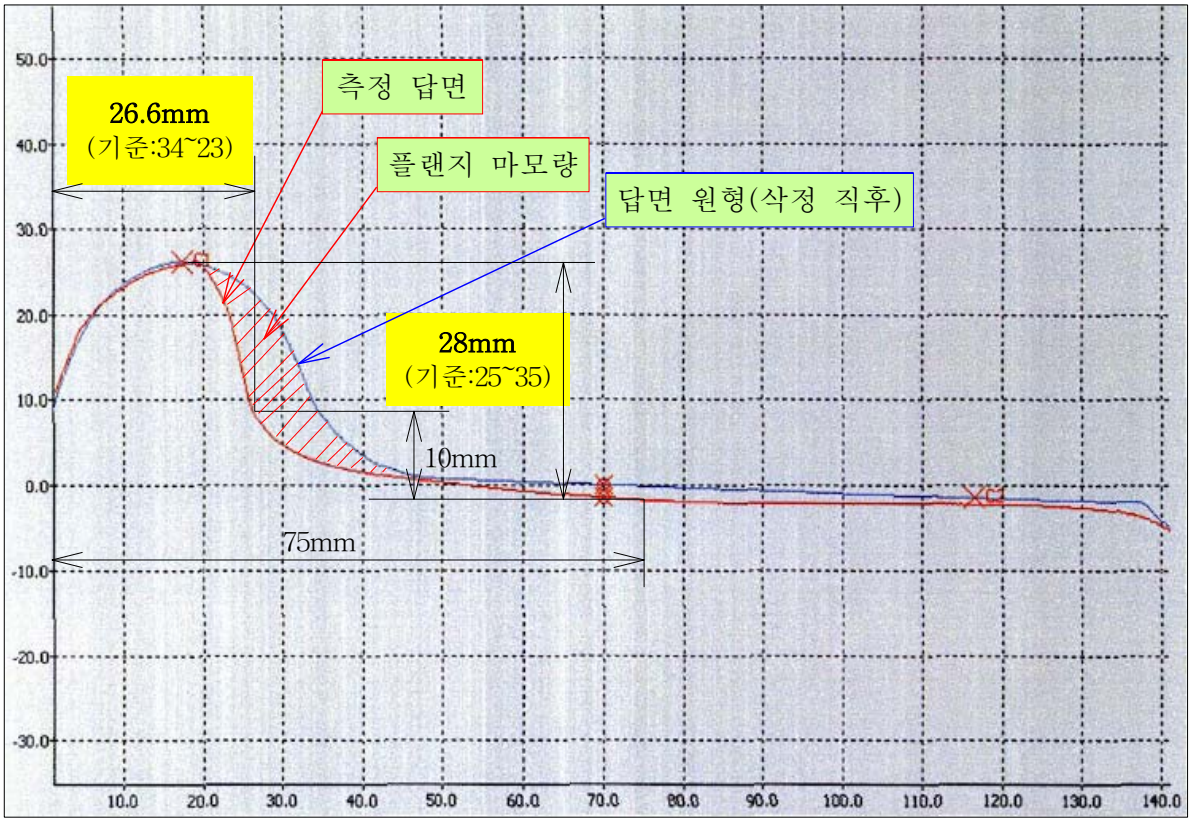
[표 8] 차륜 치수 측정값

상기 [표 8] 과 같이 차륜의 플랜지 높이 및 두께가 정상적 범위의 값으로 측정되었고 검수기준을 벗어나지는 않았으나, 플랜지 부분에 대한 편마모(4)의 진행 형태 및 마모된 양을 좀 더 정확히 관찰하기 위해서 [그림 27] 과 같은 특수장비를 사용하여 답면의 형상을 측정하였다.

(4) 편마모 : 차륜의 활주(滑走, Sliding)에 의해 발생되며, 기준을 벗어나면 차륜 삭정 또는 교환을 하여야 한다.

[그림 27] 차륜 답면 형상(Profile) 측정 장비

[그림 28]은 710호 차량 ②위측 차륜 답면을 측정한 그래프로서, 탈선차륜들 대부분이 이와 유사한 형태로 측정되었다.



[그림 28] 차륜 답면 측정 그래프

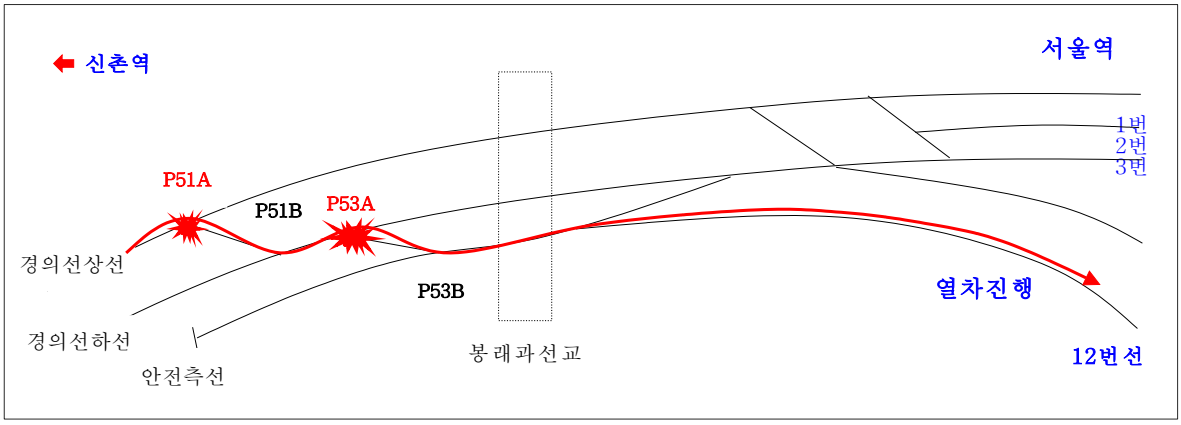
상기와 같이 차륜의 이상여부를 분석한 결과, 차륜의 플랜지가 레일의 수직방향에 가까운 직립마모(5) 형태로 마모가 진행된 것은 플랜지 측면부가 곡선선로 통과시의 횡압에 의한 레일 측면부 및 선로전환기 통과시의 텅레일 첨단부와의 잦은 접촉에 의한 것으로 분석되었다.

2.5 제동취급의 영향 분석

새마을열차의 제동시스템은 공기제동 방식으로 기관사가 제동취급 시 동력차와 객차가 동시에 제동 체결되는 시스템으로서, 공차 시 또는 영차 시 제동취급에 의한 차량 간 충격은 없었던 것으로 보여 졌다.

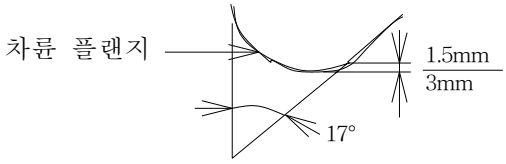
2.6 서울역북부 노반에 선로전환기 배치의 적정여부 분석

서울역북부의 선로구조는 [그림 29] 과 같이 신촌역에서 서울역 12번선으로 진입 할 시 경의선 상선에서 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 통과하여야만 진입 할 수 있는 구조이다.



[그림 29] 서울역북부 선로구조도

(5) 직립마모 : 아래 그림과 같이 차륜 플랜지가 차륜 답면에 수직방향으로 직선상 발생한 마모로 직선상 마모부와 외주와의 교점에 각을 이루고, 그 위치가 다음의 어느 것에도 해당하지 않아야 한다. 기준을 벗어나면 차륜 삭정 또는 교환을 하여야 한다.

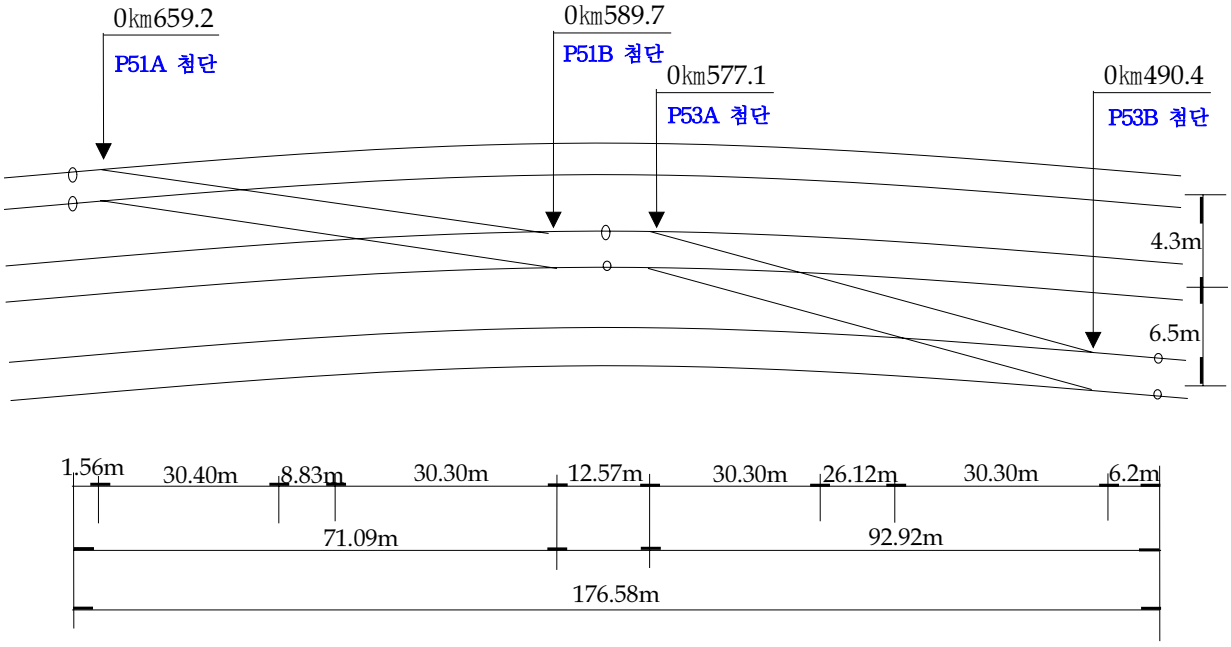


가. 플랜지 첨단과 각 점의 최단 거리가 1.5mm이하
나. 직선각이 17°이하 및 플랜지 첨단과 1.5mm ~ 3mm

사고구간 선로의 사고흔적, 유지관리 상태 등을 확인한 결과, 열차는 선로전환기에 비교적 낮은 속도(15km/h)로 진입하였으나 텅레일에 매우 심대한 충격을 주고 있는 것으로 보여 졌으며, 곡선부 내방으로 선로전환기가 설치되어 있고 하향구배(신촌→서울역방향)가 겹쳐 있어 낮은 속도로 진입하더라도 곡선 외측으로 상당한 원심력을 받게 되는 것으로 분석되었다. 또한 사고발생 당시 노반은 해빙으로 인한 침하 등이 발생할 가능성이 높았으며, 선로전환기 부근에 부여한 캔트도 불량(기준치 50㎜, 측정치 60㎜)하였다.

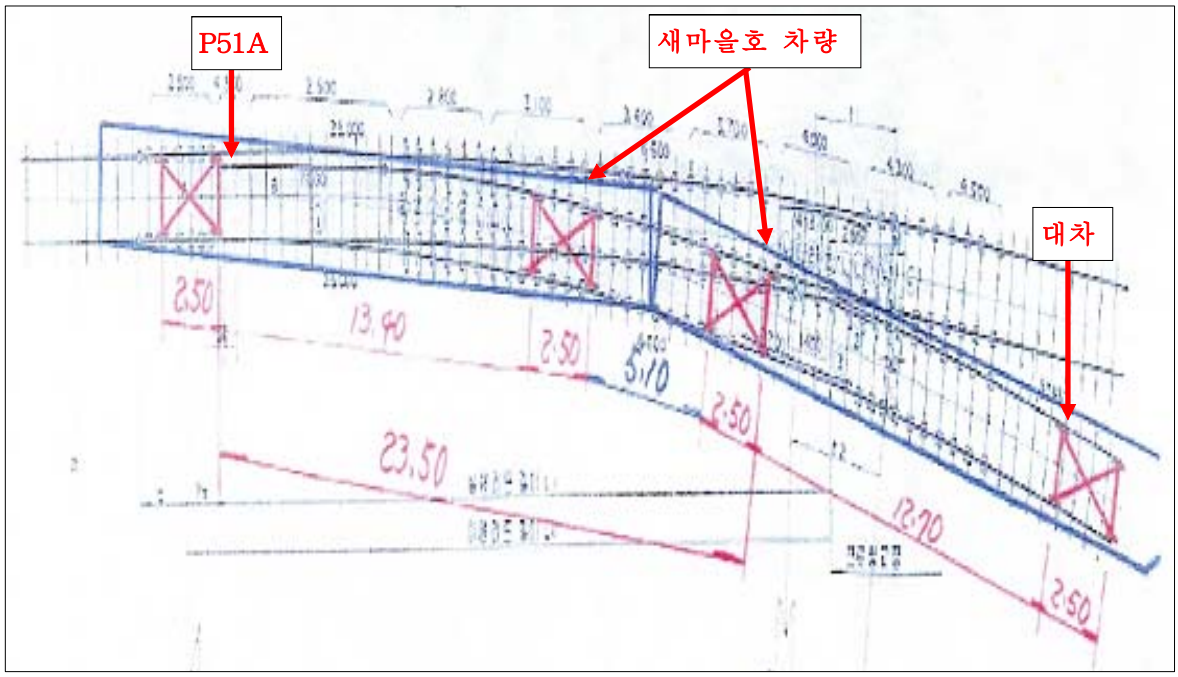
차량이 궤도상을 주행할 때 차륜은 레일두부측면과 차륜의 플렌지가 접촉하여 좌·우로 사행운동[6](蛇行運動)을 하면서 이동하게 되고, 차량의 대차는 4개의 차륜을 두개의 축에 연결시켜 일체화한 고정축으로 만들어져 있기 때문에 차륜이 곡선의 완화부를 통과할 때 3점 지지현상(4개의 바퀴 중 1개는 뜬 상태)을 나타내게 되며, 특히 객차가 공차인 상태이기 때문에 열차의 탈선을 방지해 주는 자중의 감소로 그 상황을 악화시켰을 것으로 분석되었다.

열차의 운행상태에 따른 차량과 선로전환기와의 거리관계를 확인한 결과, [그림 30] 의 P51A 선로전환기 첨단부(텅레일 끝부분)에서 크로싱부의 가드레일 전부까지의 길이와 새마을호 차량 길이와의 관계가 [그림 31] 과 같았다.



[그림 30] 서울역북부 선로전환기 위치약도

[6] 사행운동 : 열차가 S자형 선로를 운행할 때 뱀처럼 지그재그로 움직이며 진행하는 것



[그림 31] P51A 선로전환기와 새마을호 차량과의 거리관계도

새마을호 열차의 앞 차량 후부대차가 크로싱의 가드레일 전부에 와 있을 때 뒤 차량의 후부대차가 첨단의 텅레일부에 와 닿게 되고, 레일 위를 주행하는 차량의 차륜은 앞에서 말한바와 같이 곡선부를 주행 시 곡선외측으로 작용하는 횡압과 3점지지 현상, 사행운동 등을 하면서 선로전환기를 통과하게 된다.

이때 제동을 취급하면 크로싱 가드레일 전부에 와 있는 차륜이 충격을 받게 되어, 선로전환기 첨단 텅레일부에 와 있는 공차상태에서의 차륜의 플랜지 부분이 레일 두부로 올라가게 되는 것으로 분석되었다.

상기와 같이 분석한 결과, 서울역북부 곡선선로에 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 배치한 것은 적정하지 못하였고, 가능한 직선구간으로 조기에 이설하는 것이 적정하다고 분석되었다.

3. 결론

위원회는 경의선 서울역구내 H 1161호 및 H 1057호 새마을열차 탈선사고에 대한 사실정보 및 원인분석을 근거로 다음과 같이 조사결과를 도출하였다.

3.1 조사 결과

3.1.1 H 1161호 사고열차는 수색차량기지를 출발하여 용산역으로 가는 새마을 회송열차로 2월 15일 17:00경 서울역으로 진입 하던 중 P53A 선로전환기 부근에서 궤도를 이탈하여 정차되었다.

3.1.2 H 1057호 사고열차는 수색차량기지를 출발하여 서울역으로 가는 새마을 회송열차로 3월 1일 13:10경 서울역으로 진입 하던 중 P51A 선로전환기 부근에서 궤도를 이탈하여 정차되었다.

3.1.3 사고발생 선로는 신촌역에서 서울역방향으로 10/1,000 정도의 내리막으로 부설되어 있고, 곡선반경 R=450m로 이루어져 있으며, P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기가 곡선선로에 연속으로 설치되어 있었다.

3.1.4 H 1161호 및 H 1057호 사고열차는 서울역 진입 전까지는 30~60㎞/h 속도로 운행되었고, 서울역구내 진입 후 사고지점까지는 5~20㎞/h 속도로 운행 되었다.

3.1.5 서울역북부 선로전환기의 유지보수 및 점검, 교체내역을 효율적으로 관리하기 위해 작업 기록내용의 전산화가 필요하였고, 선로전환기가 설치되어 있는 선로의 상태(곡선반경, 구배, 선로전환기 위치, 캔트 등)를 기록한 도면 작성 등 정확한 선로자료 관리가 필요한 것으로 판단되었다.

3.1.6 사고구간 선로 및 차륜의 윤중·횡압이 탈선에 미치는 영향을 분석한 결과, 사고구간 선로는 곡선부, 선로전환기, 하향구배 등 궤도측면에서 볼 때 매우 취약한 개소이고, 열차의 제한속도와 선로전환기 크로싱, 리드부에서 탈선계수가 증가하는 요인을 가지고 있으므로, 동종 사고 예방을 위해서는 궤도선형 개량이 필요하고 개량전까지 새마을열차는 동 선로 이용을 제한하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

3.1.7 탈선차륜 답면에서 박리가 발견되었으나, 이는 탈선 후에 차륜이 선로상의 침목, 베이스 플레이트, 자갈 등과 접촉하면서 발생된 것으로 판단되었다.

3.1.8 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기는 하향구배 선로상에 설치되어 있고 고속철도 개통 등 열차운행 횟수 증가로 인해 열차운행 시 텅레일에 차륜횡압이 집중되어 텅레일의 교체가 잦은 것으로 보아, 횡압 영향을 적게 받는 텅레일로 개선하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

3.1.9 서울역북부 노반 곡선선로상에 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 배치한 것은 적정하지 못하였고, 가능한 한 선로전환기를 직선구간으로 조기에 이설하는 것이 필요한 것으로 판단되었다.

3.2 사고 원인

2009년 2월 15일(일) 및 3월 1일(일) 경의선 서울역구내 새마을열차 탈선사고는 다음과 같은 여러 원인이 복합적으로 작용되어 발생된 것으로 판단된다.

1. 사고발생 선로구간이 다음과 같이 열차운행에 열악한 조건이었다.
   - ㅇ R=450의 곡선선로 구간에 선로전환기 설치
   - ㅇ 10/1,000 정도의 하향구배상에 선로전환기 설치
   - ㅇ 약 176.6m의 짧은 구간에 4개의 선로전환기가 연속적으로 설치

2. 공차이고 대차 차축간 거리가 긴 사고열차가 서울역구내(12번선)로 진입 시, 위 열악한 선로조건의 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 연속으로 통과하면서 발생된 사행운동이 좌·우 진동으로 심화되었고, 해빙기 노반침하 등에 의한 차륜의 3점 지지 현상으로 바퀴 1개가 뜬 상태에서 제동이 취급되어 차륜의 플랜지가 레일두부로 올라가게 되었다.

3. P51A 및 P53A 선로전환기 부근의 캔트가 불량하였다.

4. 안전권고

위원회는 2009년 2월 15일 및 3월 1일 서울역구내에서 발생한 새마을열차 탈선사고에 대한 조사결과에 의거 다음과 같이 안전권고를 발행한다.

4.1 한국철도시설공단에 대하여

1. 사고를 근본적으로 예방하기 위해 사고구간의 선형을 개선 할 것.

2. 선형개선시까지는 곡선선로구간에 배치되어 있는 P51A, P51B, P53A 및 P53B 선로전환기를 곡선이 완화된 구간으로 이설할 것.

4.2 한국철도공사에 대하여

1. 서울역북부 사고발생 지점의 선형이 개선되거나 선로전환기가 곡선이 완화된 구간으로 이설 될 때까지 새마을열차의 동 선로 이용을 제한할 것.