보고서 번호
ARAIB/R 10-3

철도사고조사 보고서

서울메트로 제2호선 신도림역구내 전동열차 탈선('10. 1. 20)

2010. 11. 24

국토해양부

항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는「항공・철도사고조사에 관한 법률」제25조에 의하여 작성되었다.

동법 제1조에 의하면 철도사고 등에 대한 조사의 궁극적인 목적은 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고 등의 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 용도로 사용하여서는 아니 된다.

차 례

Ⅰ. 서울메트로 제2호선 신도림역 전동열차 탈선사고 ····· 1

Ⅱ. 개 요 ····· 2
1. 사고개요 ····· 2
2. 조사개요 ····· 2

Ⅲ. 본 문 ····· 3
1. 사실정보 ····· 3
1.1. 사고경위 ····· 3
1.2. 피해사항 ····· 3
1.3. 인적 사항 ····· 4
1.4. 물적정보 ····· 5
1.5. 기상정보 ····· 11
1.6. 현장정보 ····· 12
1.7. 사고열차 운행기록 ····· 18
1.8. 사고전동차 검수사항 ····· 21
1.9. 취약구간 운전취급 교육 ····· 21

2. 분 석 ····· 22
2.1. 사고열차 운행상황 분석 ····· 22
2.2. 기관사 업무수행 분석 ····· 23
2.3. 관제사 업무수행 분석 ····· 23
2.4. 과주여유거리(Overlap) 설정 분석 ····· 23
2.5. ATS지상자 설치위치 분석 ····· 24
2.6. 출발신호기 위치 분석 ····· 24
2.7. 신호보안장치(ATS, ATO/ATP) 운영현황 분석 ····· 24
2.8. 기타 시설물 등 분석 ····· 24

2.9. 취약구간 운전취급 교육 분석 ····· 24

3. 조사결론 ····· 25
3.1. 조사결과 ····· 25
3.2. 사고원인 ····· 26

4. 안전권고 ····· 26
4.1. 서울메트로에 대하여 ····· 26

철 도 사 고 조 사 보 고 서

Ⅰ. 서울메트로 제2호선 신도림역 전동열차 탈선사고

1. 운영기관 : 서울메트로

2. 운행노선 : 서울메트로 제2호선

3. 발생장소 : 신도림역 구내(제205A선로전환기 상)

4. 사고열차 : 제5946호 전동열차(제234편성, 10량, 신도림역⇒신정차량기지)

5. 사고유형 : 열차 탈선

6. 사고일시 : 2010년 1월 20일(수) 19:46경

Ⅱ. 개 요

1. 사고개요

2010년 1월 20일(수) 19시 46분경 서울메트로 소속 제5946 전동열차가 제2호선 신도림역에서 영업운행을 마치고 신정차량기지로 입고하기 위하여 인상선(Y선)을 출발한 후 제2번선으로 진입하여 운행 중 기관사가 출발신호기에 현시 된 정지신호에 대한 확인을 소홀히 하면서 진행하여 정위에서 반위로 전환 중이던 제205A선로전환기 상에서 제1호차의 차륜 4개가 진행방향 우측으로 탈선하였다.

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았으나, 레일체결구 일부와 차량의 차륜 등 주행장치의 일부에 흠집이 발생되었다.

2. 조사개요

항공・철도사고조사위원회(이하 “조사위원회”라 한다)는 서울메트로 제2호선 신도림역에서 열차가 탈선한 사실을 인지하고 사고의 원인규명과 동종사고의 재발을 방지하기 위해 ‘항공・철도사고조사에 관한 법률’ 제18조(사고조사의 개시 등)에 의거 사고조사 업무를 개시하였다.

사고발생 현장에서 사고경위, 현장상태, 피해사항, 사고열차 및 파손된 전철시설물 등을 조사하였고, 사고열차의 기관사에 대한 문답서 등의 자료를 확보하고 서울메트로 본사를 방문하여 관제사의 문답서를 작성하였다.

조사위원회는 사고열차 탈선에 대한 사실정보 및 분석으로 부터 조사결과를 도출하고 그 내용에 대하여 서울메트로 관계자의 의견을 청취하였으며 이를 토대로 서울메트로에 대하여 8건의 안전권고를 발행하였다.

Ⅲ. 본 문

1. 사실정보

1.1. 사고경위

2010년 1월 20일(수) 19시 46분경 서울메트로 소속 제5946전동열차(이하 “사고열차”라 한다)가 제2호선 신도림역에서 신정차량기지로 입고하기 위해 인상선(Y선)을 출발하여 본선(2번선)으로 진입하여 운행 중, 기관사가 정지신호 확인을 소홀히 하여 출발신호기 앞에서 정차하지 못하고 [그림 1]과 같이 과주[1]하여, 정위에서 반위로 전환 중이던 제205A선로전환기 상에서 제1호차의 전부대차 제1위, 제2위, 제3위 및 제4위 차륜이 진행방향 우측으로 탈선하였다.

[그림 1] 신도림역 사고현장 약도

1.2. 피해사항

1.2.1. 인명피해

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았다.

1.2.2. 물적피해

이 사고로 레일 체결구 9개, 탈선한 차량의 견인전동기 기어박스 하부 및 차륜 2개에 흠집이 생겼다.

1) 과주(過走)란 열차가 정지위치를 지나 계속 진행하는 것을 말한다.

1.2.3. 사고복구

사고복구에는 총 1시간 46분이 소요되었으며, 21시 32분경 복구가 완료되어 열차 운행이 재개 되었다.

1.3. 인적 사항

1.3.1. 기관사

기관사 박○○(49세)은 1992년 2월 임용되어, 서울메트로 대림승무사업소 차장으로 근무하다 기관사 전환교육을 이수하고, 1995년 5월 부터 기관사로 근무하였으며, 사고일 까지 상을 받거나 처벌을 받은 사실이 없었다.

1994년 11월 서울메트로 인재개발원에서 시행한 적성검사에서 식별반응, 심경각, C・C・NO 및 지적능력은 ″A″급을, 속도추정 및 처치판단은 “B″급을, 안정도, 전신반응, 지각속도 및 운동 협응능력은 ″C″급을, 작업태도는 ″D″급을 받았으며 정기적으로 적성검사 사후관리 교육을 받아 근무에는 지장이 없었다.

사고 당일 근무상황을 보면 2010년 1월 20일 10시 48분에 출근하여 10시 57분 지도차장의 점호를 받았으며, 전반사업[외선순환, 제2219열차(대림→성수), 제2251열차(성수→성수), 제2281열차(성수→대림), ※성수역에서 열차번호가 변경됨]을 마치고 대림승무사업소 휴게실에서 휴식을 취한 다음 후반사업[외선순환, 제2375열차(대림→성수), 제2429열차(성수→신도림)] 사업을 수행하고, 사고열차(제5946열차, 신도림→신정차량기지)에 승무하였다.

사고기관사는 승무 전 2010년 1월 19일 19시 부터 1월 20일 10시 까지 휴식을 취하였다. 사고일 사고열차의 운전 중에 음주나 허가되지 않은 약물을 복용하지 않았고 건강상태는 정상인 것으로 진술하였으며 과로의 흔적은 발견되지 않았다.

1.3.2. 관제사

관제사 박○○은 1983년 9월 서울메트로에 임용되어 구로승무사업소 소속 기관사로

근무하다, 1994년 9월부터 1997년 5월 까지 관제사로 첫 번째 근무하였으며 2003년 4월부터 사고일 까지 두 번째 관제사로 근무하고 있었다. 2002년 사고예방 공로로 서울메트로사장 표창을 받았고 처벌받은 사실은 없었다.

사고 당일 18:00에 출근하여, 내·외선 열차가 약 10분 정도 지연 운행되고 있는 상태에서 전반 근무자로부터 업무를 인계받아 근무하고 있었으며, 건강상태는 양호하며, 근무상태도 이상이 없었던 것으로 확인되었다.

1.3.3. 신호원

사고 발생 당시 신도림역은 CTC로 취급되고 있었으며, 신도림역의 신호원은 이번 사고와 관련하여 직접적인 관련이 없었다.

1.4. 물적정보

1.4.1. 레일 및 도상

1983년 11월 신설 시 50kg/m 레일을 사용하였으나, 2002년 11월 ATP시스템 개량 사업 시 60kg/m로 교체되었으며, 도상은 신설시 부터 자갈도상이다. 레일의 두부 폭을 측정한 결과 [그림 2] 및 [그림 3]과 같이 정상이었다.

[그림 2] 60kg레일 두부 폭 측정(전면)

[그림 3] 60kg레일 두부 폭 측정(측면)

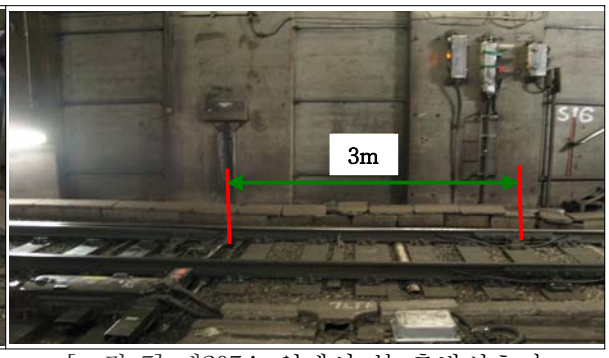
1.4.2. 선로전환기

제205A선로전환기는 2002년 11월부터 60kg/m 규격을 사용하고 있으며, 분기기

번호는 제8번, 형식은 편개이며, 2010년 1월 19일 일상점검 시 이상이 없었으며, 사고발생 후 조사위원회가 측정한 결과도 동일하였다.

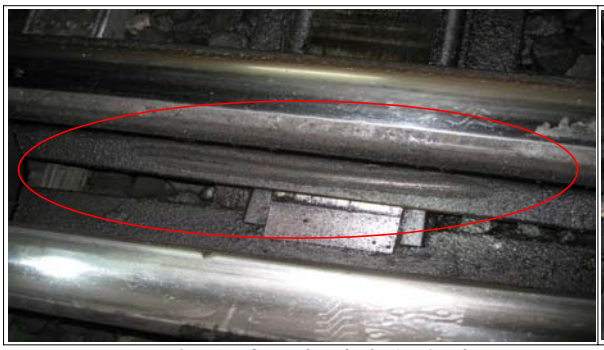
[그림 4]의 제205A선로전환기 첨단부 전환시간은 6초, [그림 5의] 선로전환기 첨단과 신호기간 거리는 3m로 측정되었다.

[그림 4] 제205A 선로전환기(자갈도상)



[그림 5] 제205A 옆에서 본 출발신호기

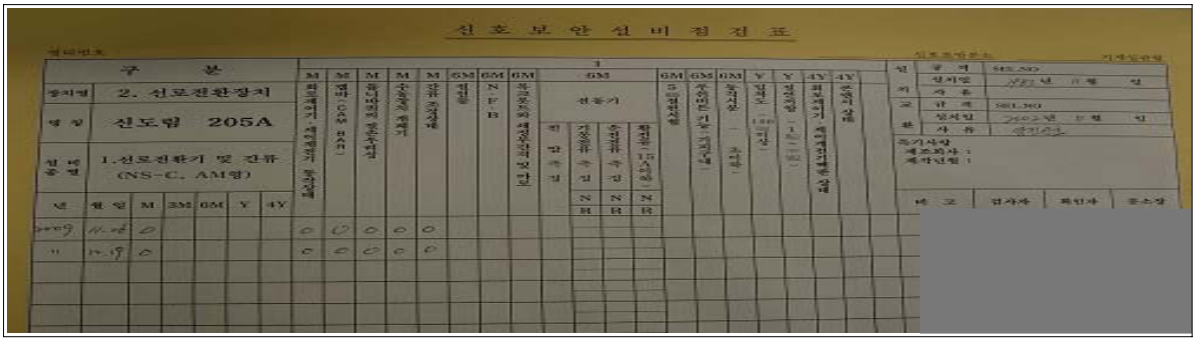
제205A선로전환기 텅레일 부분에 [그림 6]과 같이 차륜이 지나간 흔적이 있어 [그림 7]과 같이 장비를 이용하여 궤간 등을 측정한 결과 규격은 정상이었다.



[그림 6] 차륜이 지나간 흔적

[그림 7] 제205A 선로전환기 간격 측정

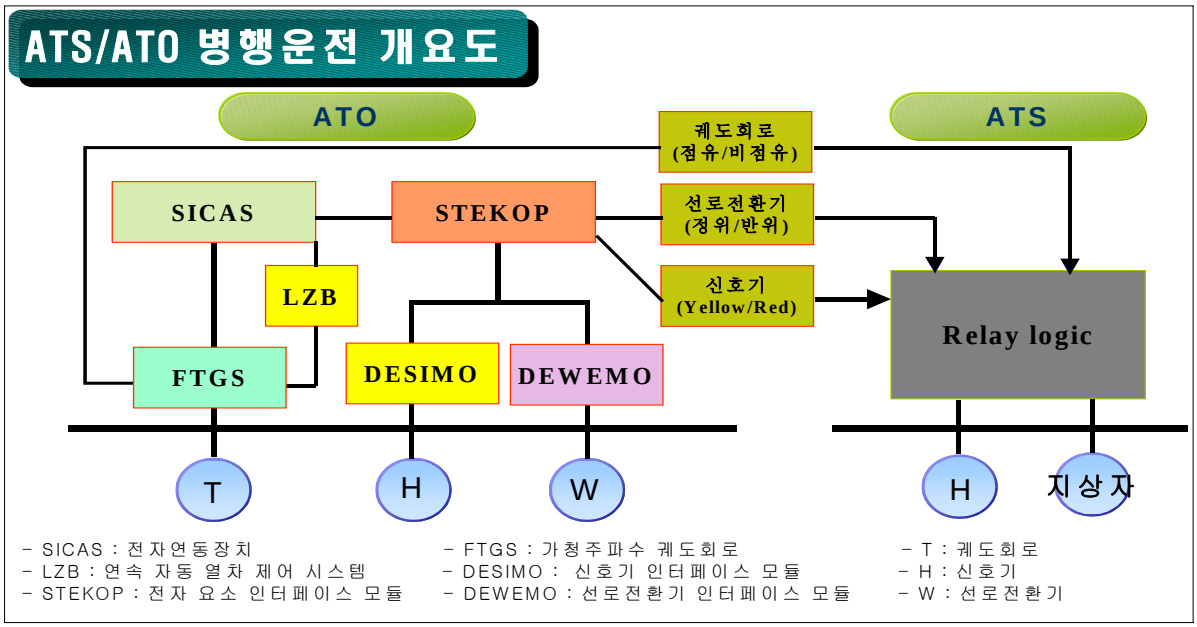
2009년 12월 19일 실시된 신호보안분소 월상점검 시 205A선로전환기는 [표 1]과 같이 정상이었다.



[표 1] 신호보안설비(205A선로전환기) 월상 점검표

1.4.3. 열차제어시스템 운용현황

서울메트로 제2호선의 지상설비는 2007년 12월 23일부터 ATO(Automatic Train Operation)시스템으로 개량하여 사용 중에 있으나 차상설비는 기존의 ATS (Automatic Train Stop)시스템을 사용하고 있어 지상설비와 차상설비와의 정보교환은 [그림 8]과 같이 별도의 인터페이스 설비를 추가하여 ATO시스템 탑재 차량 도입 시까지 한시적으로 운용 중에 있다.



[그림 8] ATS/ATO 병행운전 개요

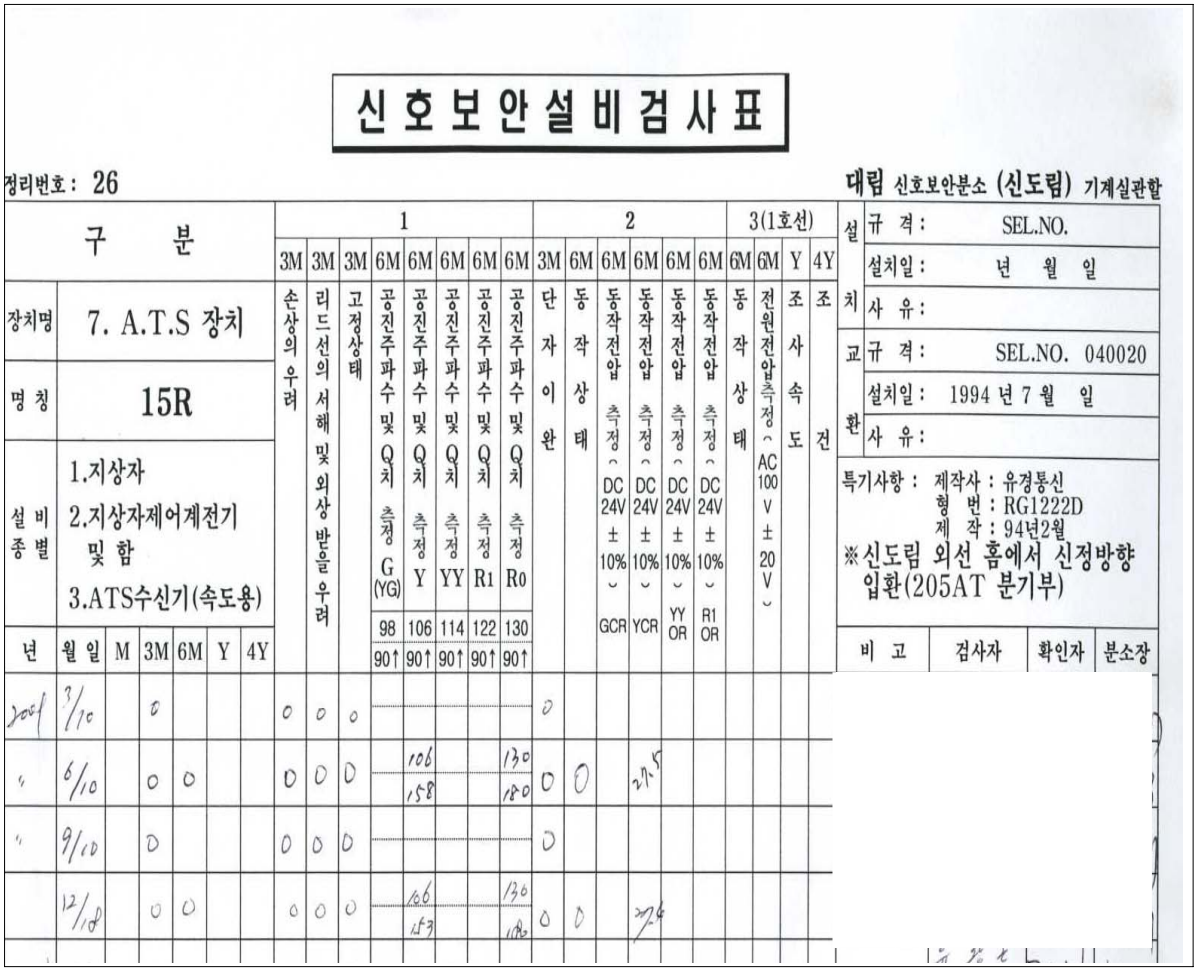
1.4.4 ATS 지상장치

ATS(열차자동정지장치)는 열차가 정해진 정지위치에 정차하지 않거나, 신호의 현시상태를 무시하고 운행하는 경우 자동적으로 열차를 정지시키는 장치로서,

2007년 12월 23일 부터 지상설비는 기존의 ATS시스템과 개량된 ATO(Automatic Train Operation)시스템을 병행하여 운용하고 있으며, ATO시스템의 정보는 인터페이스를 통하여 기존의 신호기와 ATS지상자에 보내어 사용하고 있다.

열차가 신도림역구내 입환 시 최고속도 25km/h 속도로 운행할 경우 비상제동거리는 33m가 필요하나 신도림역의 경우 정지위치와 ATS지상자간의 거리가 9m로 짧게 설치되어 있었다.

ATS지상장치는 2007년 12월 23일 사용개시 후 3개월 단위로 점검하고 있었으며 [표 2]와 같이 사고 발생 전 2009년 12월 18일에 시행한 3개월 검사 결과와 사고발생 후 조사위원회에서 실시한 특별정밀검사에서 이상이 발견되지 않았다.



신호보안설비검사표

정리번호: 26

대림 신호보안분소 (신도림) 기계실관할

구분							1								2						3(1호선)			
			3M	3M	3M	6M	6M	6M	6M	6M	3M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	6M	Y	4Y
장치명	7. A.T.S 장치		손상의 우려	리드선의 서해 및 외상 받을 우려	고정상태	공진주파수 및 Q치 측정 G(YG)	공진주파수 및 Q치 측정 Y	공진주파수 및 Q치 측정 YY	공진주파수 및 Q치 측정 R1	공진주파수 및 Q치 측정 R0	단자이완	동작상태	동작전압 측정 (DC 24V ± 10% ~ GCR	동작전압 측정 (DC 24V ± 10% ~ YCR	동작전압 측정 (DC 24V ± 10% ~ YY OR	동작전압 측정 (DC 24V ± 10% ~ R1 OR	동작상태	전원전압측정 (AC 100V ± 20V ~	조사속도	조건
명칭	15R																			
설비종별	1.지상자 2.지상자제어계전기 및 함 3.ATS수신기(속도용)																			
						98	106	114	122	130										
						90↑	90↑	90↑	90↑	90↑										
년	월 일	M	3M	6M	Y	4Y														
2009	3/10		○				○	○	○						○									
"	6/10		○	○			○	○	○		106			130	○	○		27.5						
											158			180										
"	9/10		○				○	○	○						○									
	12/18		○	○			○	○	○		106			130	○	○		27.4						
											153			180										

설치	교환
규 격: SEL.NO.	규 격: SEL.NO. 040020
설치일: 년 월 일	설치일: 1994 년 7 월 일
사 유:	사 유:

특기사항: 제작사: 유경통신
형 번: RG1222D
제 작: 94년2월
※신도림 외선 홈에서 신정방향 입환(205AT 분기부)

비 고	검사자	확인자	분소장

[표 2] 신호보안설비(ATS장치) 검사표(2009년도-대림신호보안분소)

1.4.5. ATS 차상장치

사고전동차는 규정된 기간에 정기검사를 받은 것이 확인되었다. 그리고 탈선사고 후에 실시한 전반검사에서 ATS 차상장치 등에 대한 이상 유무를 확인한 결과 정상이었고, 기능검사 및 시운전에서도 모든 장치가 정상적으로 동작되었음이 확인되었다.

사고일 당시 제2호선에 운용되는 총88편성(834량)의 전동차에는 모두 ATS시스템이 장착되어 있었다.

1.4.6. 사고차량의 탈선현장 정보

최초 탈선위치, 차량의 탈선상태, 탈선차량의 파손상태 등은 [그림 9] 부터 [그림 16]과 같다.

[그림 9] 탈선장소인 205A선로전환기 전경

[그림 10] 탈선한 전부대차 전부차륜

[그림 11] 탈선한 전부대차 전부차륜(측면)

[그림 12] 후부차륜(정차상태)

[그림 13] 흠집이 난 체결구 및 차륜 흔적

[그림 14] 주행부 하부가 끌려간 흔적

[그림 15] 견인전동기 기어박스 하부 흠집 #1

[그림 16] 견인전동기 기어박스 하부 흠집 #2

1.4.7. 사고전동차 제원은 [표 3]과 같다.

구 분	제 원		
편성번호	234편성		
편성표 (차량번호)	MC1 - M2 - T1 - T2 - M1 - M3 - T1 - T2 - M1 - MC2 (2034) (2134) (2234) (2334) (2434) (2534) (2634) (2734)(2834) (2934)		
전동차형식	통근형 직류 전동차		
제조사	현대정공주식회사		
가선전압범위	직류 1,500V(900V~1,800V)		
속도제어방식	가변전압 가변주파수		
제동방식	회생제동 병용, 전기 지령식 공기제동		
편성중량	377.0 ton		
최대속도	100km/h		
가감속도	가속도 3.0km/h/s, 감속도 3.5km/h/s(상용), 4.5km/h/s(비상)		
차량사양	연결면간 길이	20,000 mm	
	차체길이	19,500 mm	
	차체폭	3,120 mm	
	차체높이	3,750 mm	
	자중	MC1, MC2	41.2 ton
		M1, M2, M3	41.2 ton
		T1, T2	32.0 ton
	기초제동장치	구동대차	답면제동
		부수대차	디스크제동
	대차지지장치	1차 현수장치	고무스프링
		2차 현수장치	공기스프링

[표 3] 사고전동차 제원표

1.4.8. 차륜상태

최종 월상검사 시 사고열차의 차륜 측정치는 정상이었으며, 탈선사고 후 조사위원회에서 사고전동차의 전·후부 8개 차륜을 확인한 결과 차륜답면의 찰상과 박리, 플랜지의 직립마모 등은 관찰되지 않았다. 그리고 차륜 각 부분의 치수를 측정한 결과 정비기준 이내인 것으로 확인되었다.

차륜 특별검사 기록표(사고 후 측정치)

2010.1.25~2.15 측정

차호	구분	기준치(mm)	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위
2034	직경	860/780	821	822	822	821	823	823	824	824
	두께	34/23	31.5	33.5	31.5	32.0	31.0	34.0	34.0	33.5
	높이	25/35	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
	수직마모 거리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	수직마모 각도	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2934	직경	860/780	798	798	796	796	800	800	800	800
	두께	34/23	32.5	32.5	33.5	33.0	32.5	32.5	34.0	33.0
	높이	25/35	26.0	26.0	26.5	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
	수직마모 거리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	수직마모 각도	○	○	○	○	○	○	○	○	○
※ 거리(mm)/ 각도(°) 수직 마모란은 ○・ ×로 표기(이하 : ×, 이상 :○)										

[표 4] 사고발생 후에 측정한 차륜 검사표

차륜 월상검사 기록표(사고 전 측정)

검사일 : 2009년 11월 25일

차호	구 분	기준치(mm)	1위	2위	3위	4위	5위	6위	7위	8위
2034	직 경	860/780	821	822	822	821	823	823	824	824
	두 께	34/23	31.5	33.5	31.5	32.0	31.0	34.0	34.0	33.5
	높 이	25/35	26.0	26.0	26.5	26.0	26.0	26.0	26.	26.0
	수직마모거리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	수직마모각도	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2934	직 경	860/780	798	798	796	796	800	800	800	800
	두 께	34/23	32.5	32.5	33.5	33.0	32.5	32.5	34.0	33.0
	높 이	25/35	26.0	26.0	26.5	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
	수직마모거리	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	수직마모각도	○	○	○	○	○	○	○	○	○
※ 거리(mm)/ 각도(°) 수직 마모란은 ○・ ×로 표기(이하 : ×, 이상 :○)										

[표 5] 월상검사 차륜 검사표

1.5. 기상정보

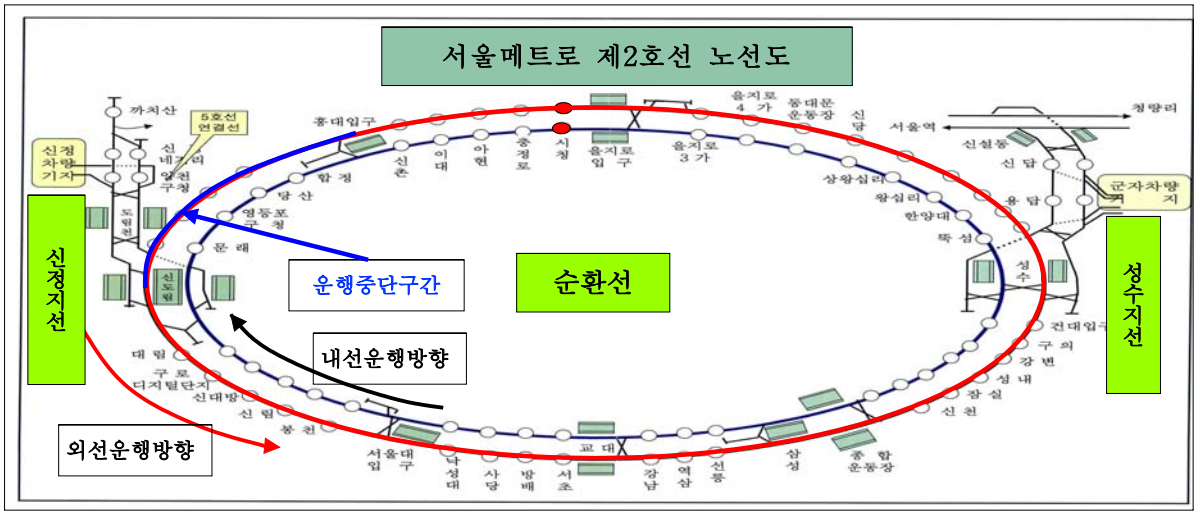
사고 당일 서울시의 기상상태는 아래와 같다.

- 최고기온 : 8.4℃
- 최저기온 : 2.4℃
- 사고 당시 비가 내리고 있었다.

1.6. 현장정보

1.6.1. 서울메트로 제2호선 정보

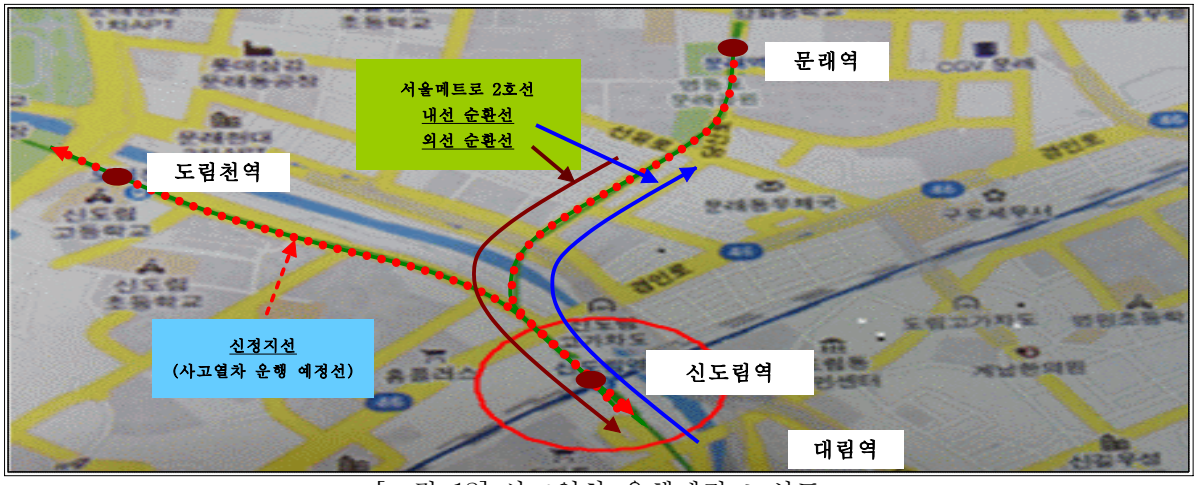
제2호선은 총 60.2km로서 [그림 17]과 같이 **순환선**(내·외선, 48.8km)·**성수지선**(성수역↔신설동역, 5.4km)·**신정지선**(신도림역↔까치산역, 6.0km)으로 구성되었다.



[그림 17] 서울메트로 제2호선 노선도

1.6.2. 신도림역 현황

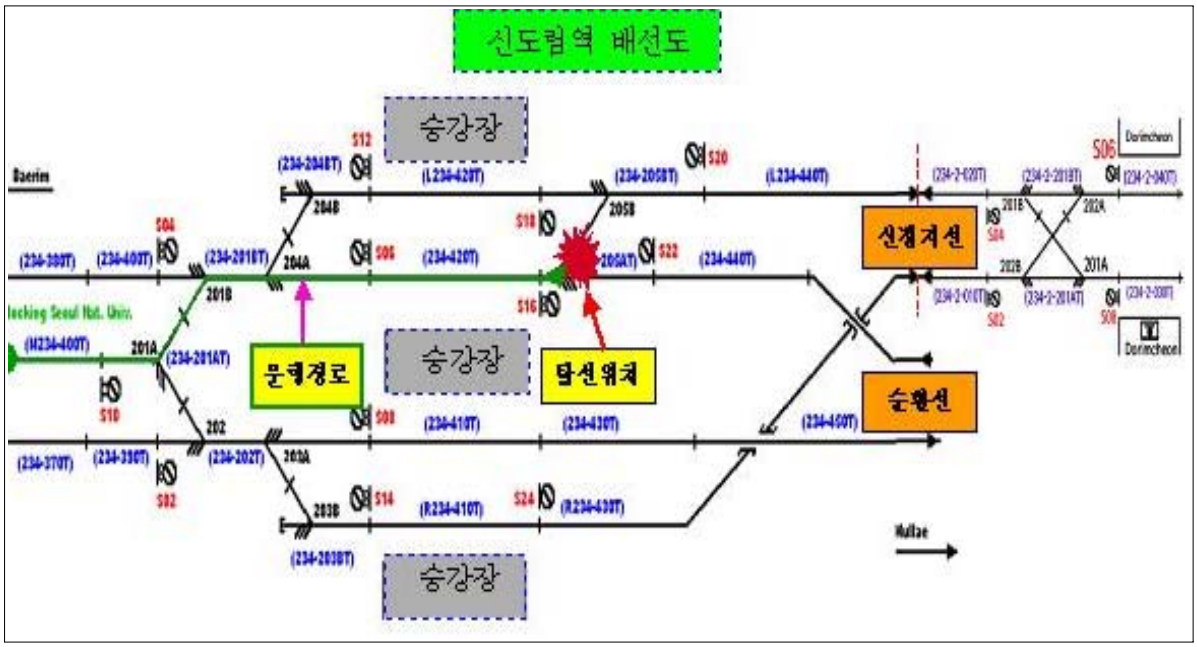
신도림역은 [그림 18]과 같이 서울메트로 제2호선과 한국철도공사 제1호선의 환승역으로 지하역사는 서울메트로에서, 지상역사는 한국철도공사에서 각각 사용 중에 있으며 지하의 서울메트로 구간은 순환선(내선, 외선) 및 신정지선(신도림↔까치산)의 시종착 역이다.



[그림 18] 사고열차 운행예정 노선도

지하역은 [그림 19]와 같이 순환선 열차가 사용하는 섬식 승강장 1개와 신정지선으로 사용하는 상대식 승강장 2개를 합하여 모두 3개의 승강장이 있고, 선로는 순환선 2개선(내・외선용), 신정지선 2개선(상・하선), 열차의 반복운행과 입・출고 열차를 위한 인상선(Y선) 1개선이 있다.

역무실, 중앙관제소[2]의 운전업무를 보조하는 신호실(운전취급실)과 신호시설물을 유지・보수하는 신호분소가 있다.



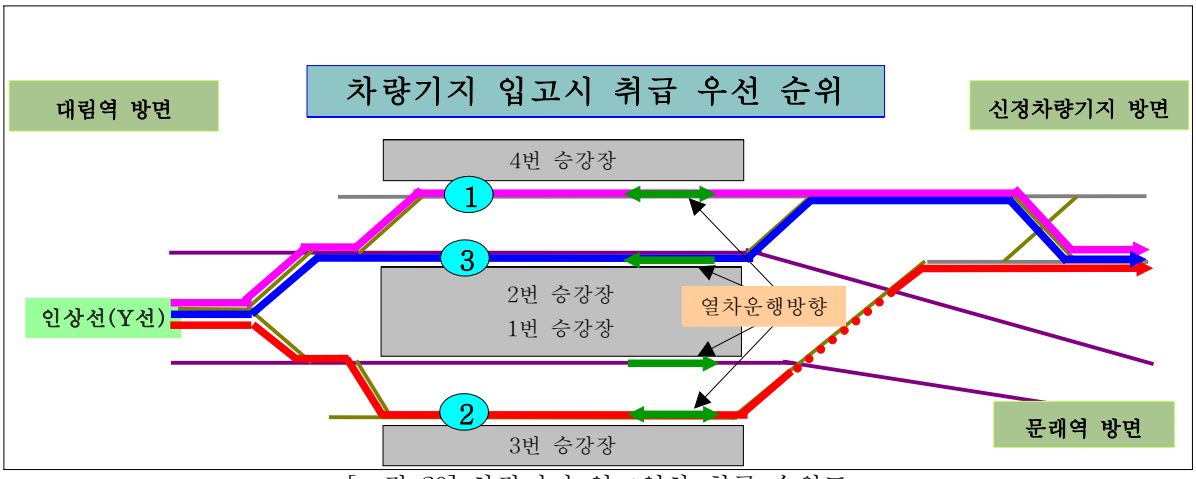
[그림 19] 신도림역 배선도(연동도표 배선)

1.6.3. 차량기지 입고선 운전취급 현황

제2호선 열차운행은 서울시 서초구 효령로에 소재한 중앙관제소(서울메트로 본사 2층)의 관제시스템에 입력된 프로그램에 따라 자동으로 실행되고 있으며, 신정차량기지 입고를 위한 열차운행도 동일하다. 다만, 비상시 또는 필요시 관제사가 직접 수동취급하거나 또는 신호원에게 지시하여 현장에서 취급할 수도 있다.

신정차량기지 입고를 위한 운전은 본선 운행열차의 지장을 최소화하기 위하여 열차의 운행 유, 무에 따라 [그림 20]과 같이 1번⇒ 2번 ⇒ 3번 진로 순으로 취급하고 있다.

2) 중앙관제소(Centralized Traffic Control Center)란 중앙열차제어 업무, 열차운영 업무, 신호 및 설비제어 업무, 전력감시제어 업무 등의 다양한 통제 업무를 수행하는 곳이다.



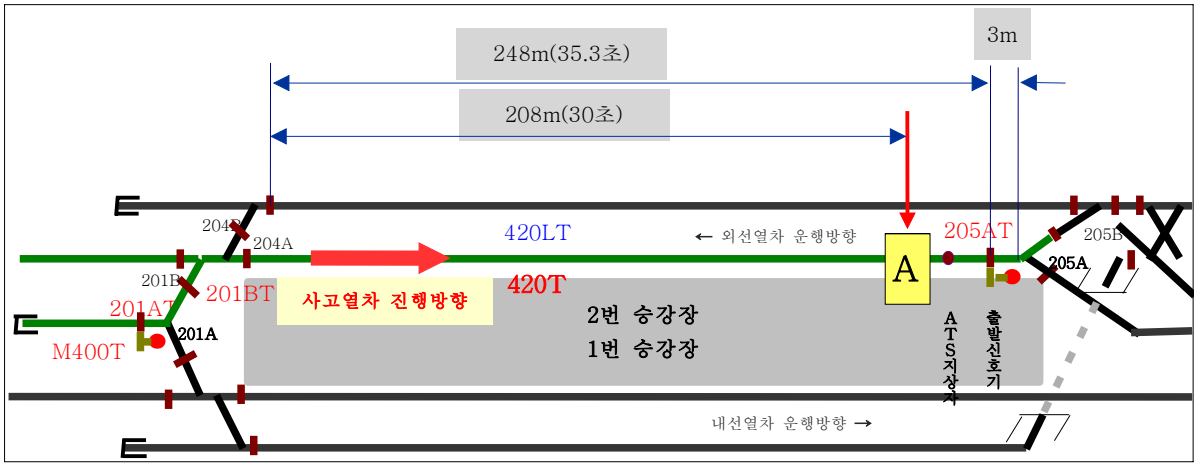
[그림 20] 차량기지 입고열차 취급 순위도

1.6.4. 과주여유거리(Overlap) 시간설정 상황

과주여유거리는 신호기 오인 등으로 기관사가 열차를 정해진 정지위치에 정차시키지 못하고 지나칠 경우 사고를 미연에 방지하기 위하여 설정하는 거리로서, 열차가 해당 폐색구간 진입 후 일정거리 주행 시 까지 외방의 선로전환기 취급을 못하게 설정하며, 신도림역구내 차량기지 입고선로 구간은 과주여유거리를 208m로 설정하고 있다.

※ 제한속도 25km/h(25,000m / 3,600sec) × (설정값 30sec) = 208m

따라서, 열차가 [그림 21]의 오버랩 종료점 “A” 지점을 통과하면 관제사의 선로전환기 전환취급이 가능하며 만약 기관사가 정지신호를 무시하고 운행 시 선로전환기가 전환 중인 구간에 열차가 진입하여 탈선할 수 있다.

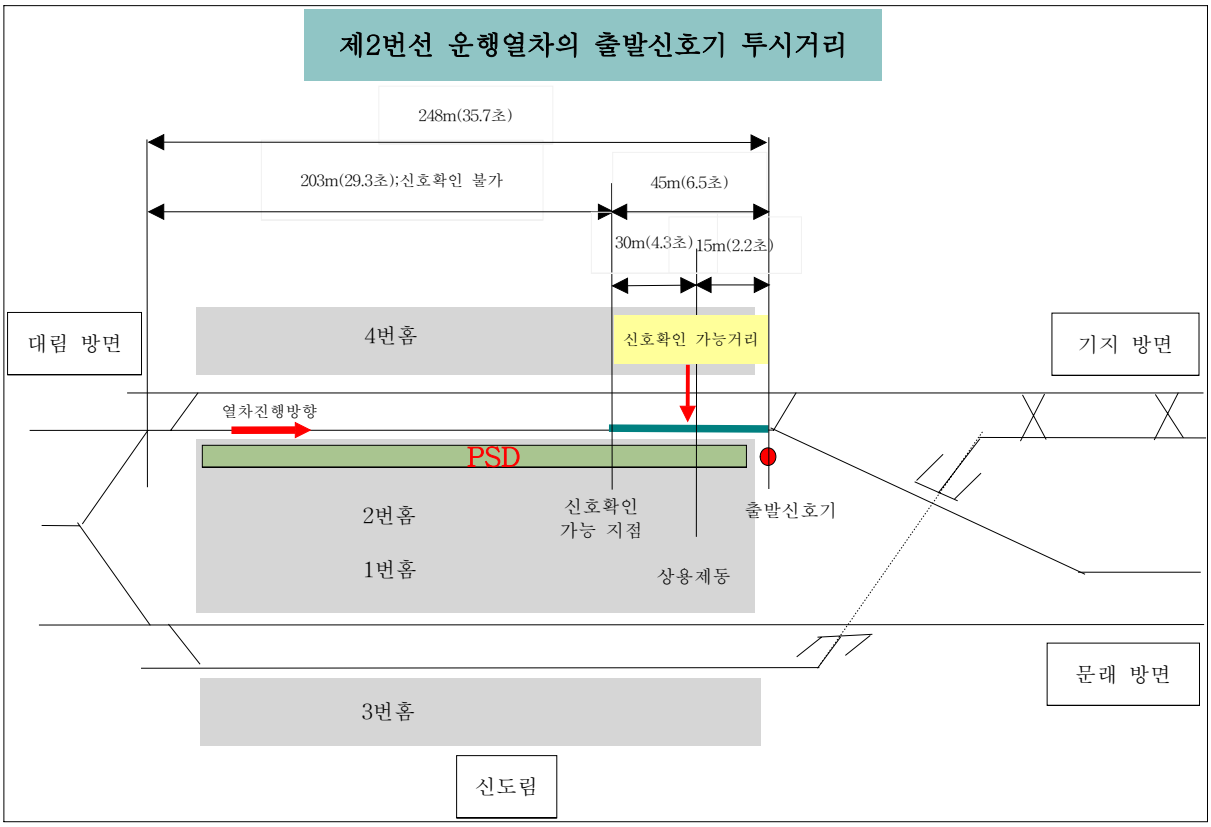


[그림 21] 과주여유거리(Overlap) 설정 현황

1.6.5. 신호기의 투시거리

도시철도건설규칙(국토해양부령, 제290호)에 의하면 신호방식은 본선의 경우 가능한 한 차내신호방식[3]을 사용하도록 정해져 있고, 출발역·차량기지 등 특수한 경우에는 지상신호방식으로 할 수 있도록 되어 있으며, 정거장·차량기지 등에는 차량의 입환에 필요한 신호장치와 진로표지를 설치하도록 규정되어 있으나 신호기의 투시거리에 대하여는 별도로 규정된 것이 없다. 서울메트로의 "신호설비설계시공표준"에 의하면 신호기는 투시가 방해되지 않고 가장 좋은 곳을 선정하여 설치하도록 되어 있다.

1983년 건설 당시 신도림역 출발신호기의 투시거리는 [그림 22]과 같이 248m 이상 확보되어 운전취급에 문제가 없었으나 [그림 23] 부터 [그림 26]에서 보는 바와 같이 2006년 6월에 설치된 PSD(Platform safety door : 승강장 안전문)로 인하여 출발신호기 투시거리가 약 45m로 제한되었다.

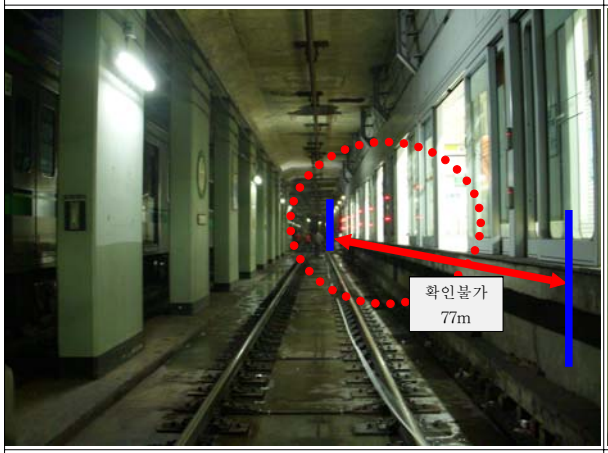


[그림 22] 신도림역 제2번선 운행열차의 출발신호기 투시거리

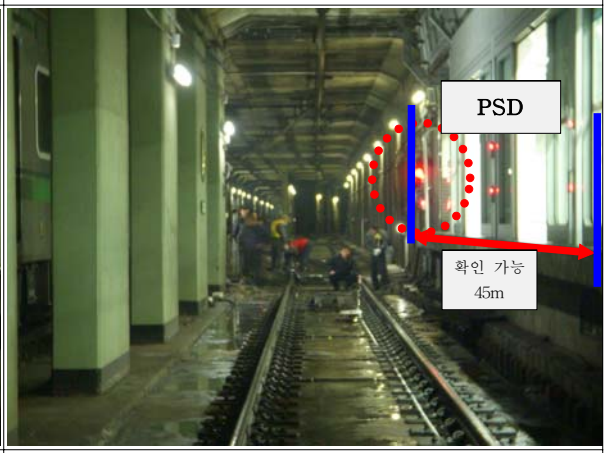
3) 차내 신호장치(Cab Signal)란 차량의 운전대에 설치된 신호현시장치를 말한다. 200km/h 이상의 고속운전에서는 차내신호방식을 채택하여야 한다. (同; 차상신호장치)

[그림 23] 제201B선로전환기 위치에서 16번 신호기(신호확인가능 : 약248m)

[그림 24] 제201B선로전환기 위치에서 16번 신호기(신호확인 불가능 : PSD가 신호기를 가림)

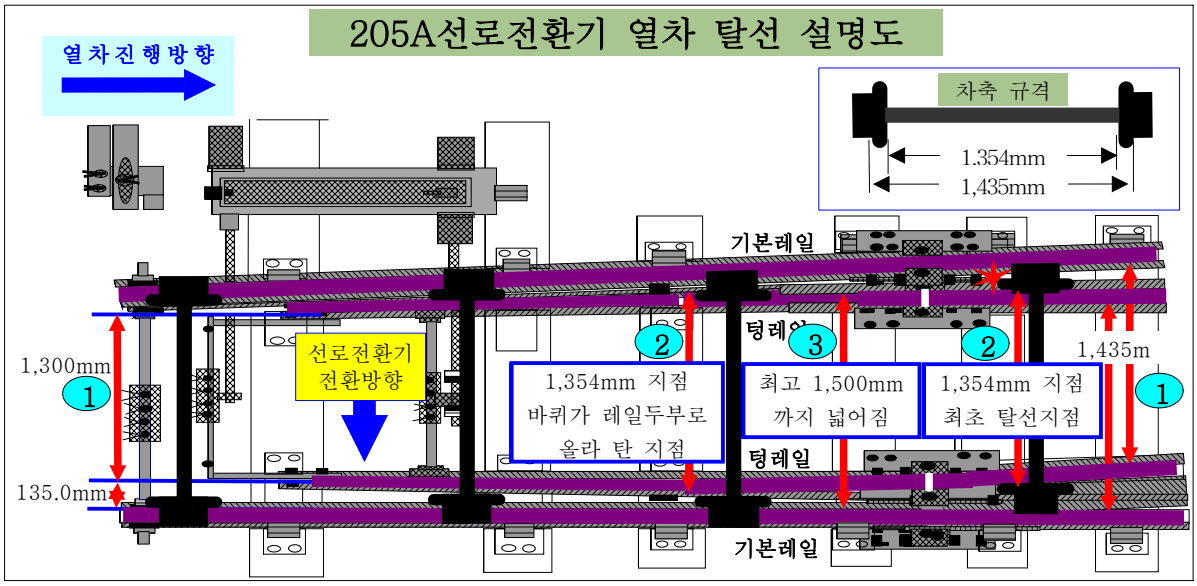


[그림 25] 2번선(외선본선)으로 운행시 16번 신호기 77m 전방(신호확인 불가능)



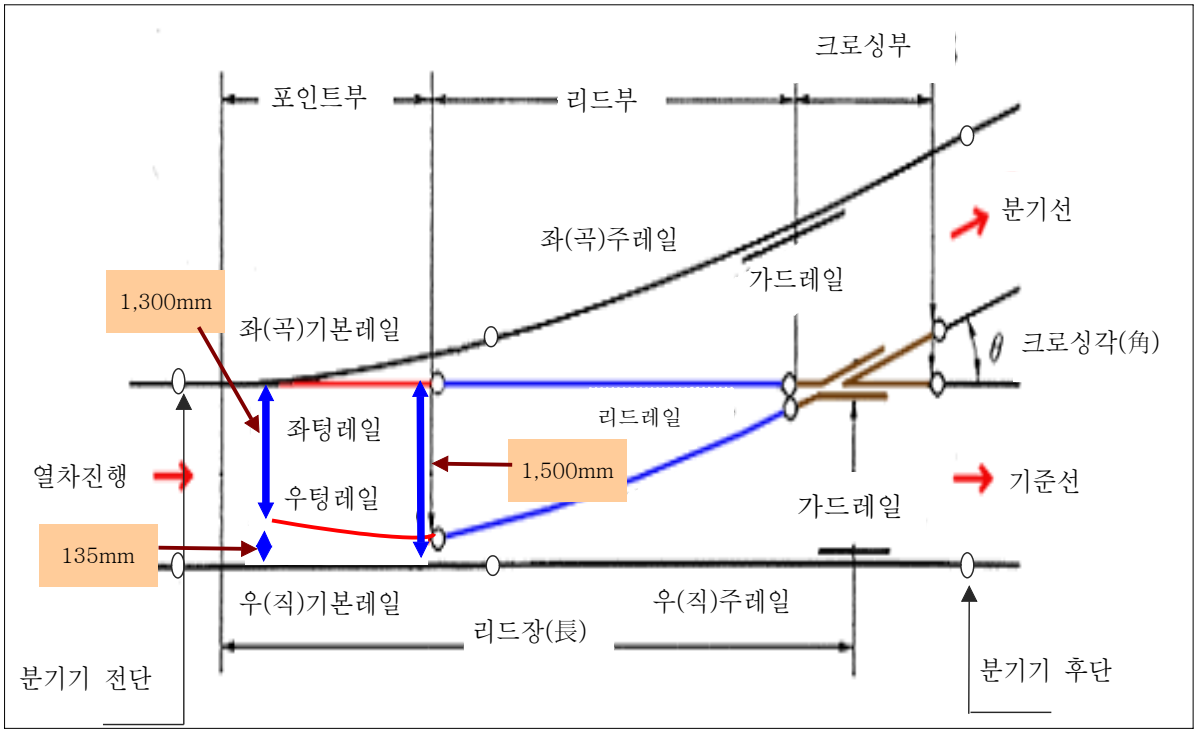
[그림 26] 2번선(외선본선) 16번 신호기 45m 전방 (신호확인 가능)

1.6.6. 사고열차의 차륜이 탈선한 상세 현황은 [그림 27]과 같다.



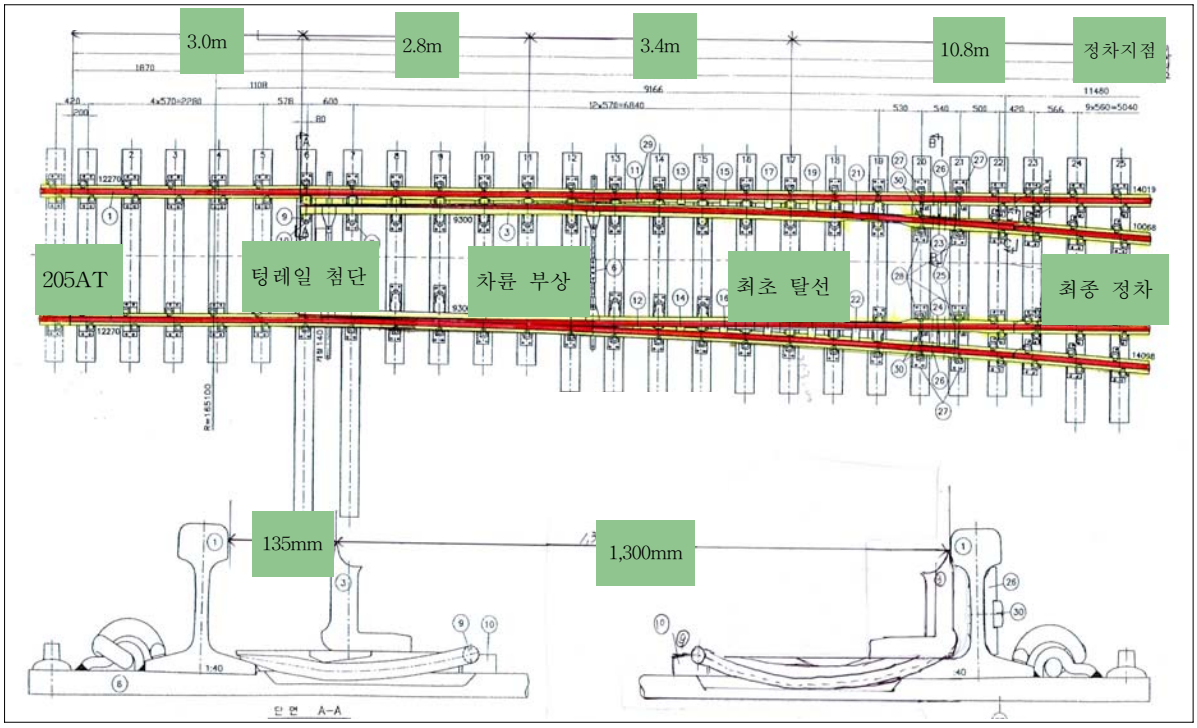
[그림 27] 선로전환기 열차 탈선 설명도

선로전환기의 각부 명칭은 [그림 28]과 같다.



[그림 28] 선로전환기 각부 명칭도

사고차량이 선로전환기 상에서 탈선이 이루어진 과정은 [그림 29]와 같다.



[그림 29] 선로전환기 상에서 탈선이 이루어진 상황

1.7. 사고열차 운행기록

1.7.1. 사고열차의 운전취급

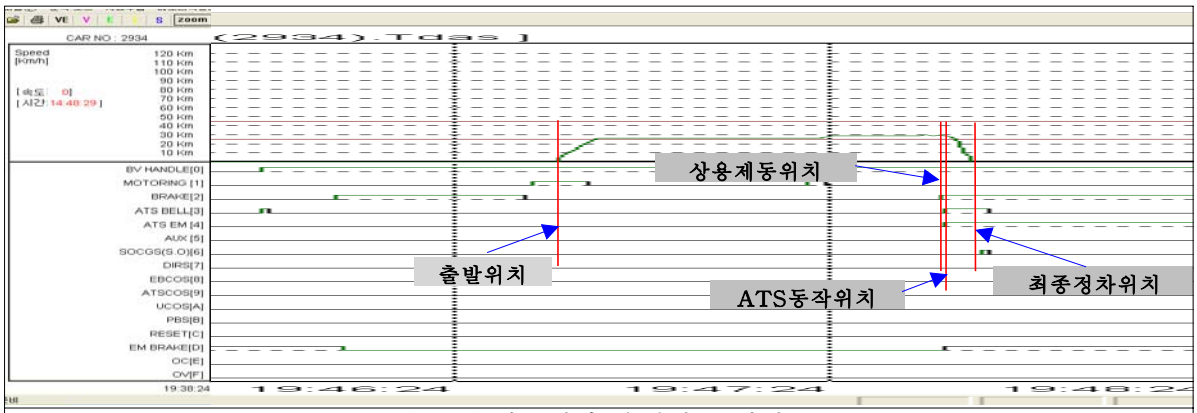
사고발생 당시 속도기록계에 의한 사고열차 운행상황은 아래의 [표 6]과 같다.

위 치	이동거리		시간	운전취급	속도(㎞/h)
			19:40	제2375열차 신도림역 15분 지연 도착	
			19:41	인상선(Y선)으로 이동	
33K 097	0		19:43	BV(제동)핸들 취거	
33K 097	0		19:45:03	BV(제동)핸들 투입(제5946열차로 명칭 변경)	-
33K 097	0		19:45:16	관제사에게 무선전화로 외선을 통해 입고지시 받음	-
33K 097	0		19:45:41	입환신호기에 진행신호 현시	-
33K 097	0		19:45:45	제동완해	-
33K 097	0		19:45:46	사고열차 인상선(Y선)에서 출발	0
33K 115	18m		19:45:55	사고열차 201AT 점유	18Km/h
33K 171	74m		19:46:04	사고열차 201BT 점유	22Km/h
33K 246	149m		19:46:16	사고열차 420T 점유	22Km/h
33K 441	344m		19:46:46	Overlap 해제됨	24Km/h
33K 455	358m		19:46:48	콘솔#2 관제사 205A/B선로전환기 수동설정	24Km/h
33K 476	379m		19:46:51	205A/B선로전환기 전환시작	25Km/h
				기관사 노치 OFF	25Km/h
				기관사 상용제동 취급	25Km/h
33K 482	385m		19:46:52	사고열차 ATS지상자 통과 비상제동 체결	24Km/h
33K 489	392m		19:46:53	사고열차가 420T내로 완전 진입	23Km/h
33K 494	394m	거리실측	19:46:54	사고열차 205AT(출발신호기) 점유	18Km/h
33K 497	397m		19:46:55	사고열차 205A 선로전환기 점유	9Km/h
33K 498	399.8m		19:46:56	전부차륜이 205A선로전환기 텅레일 두부로 부상	5Km/h
-	403.2m		19:46:57	제2위, 제1위, 제4위, 제3위 순으로 차륜 탈선	-
33K 514	414m		19:46:59	열차정지	-

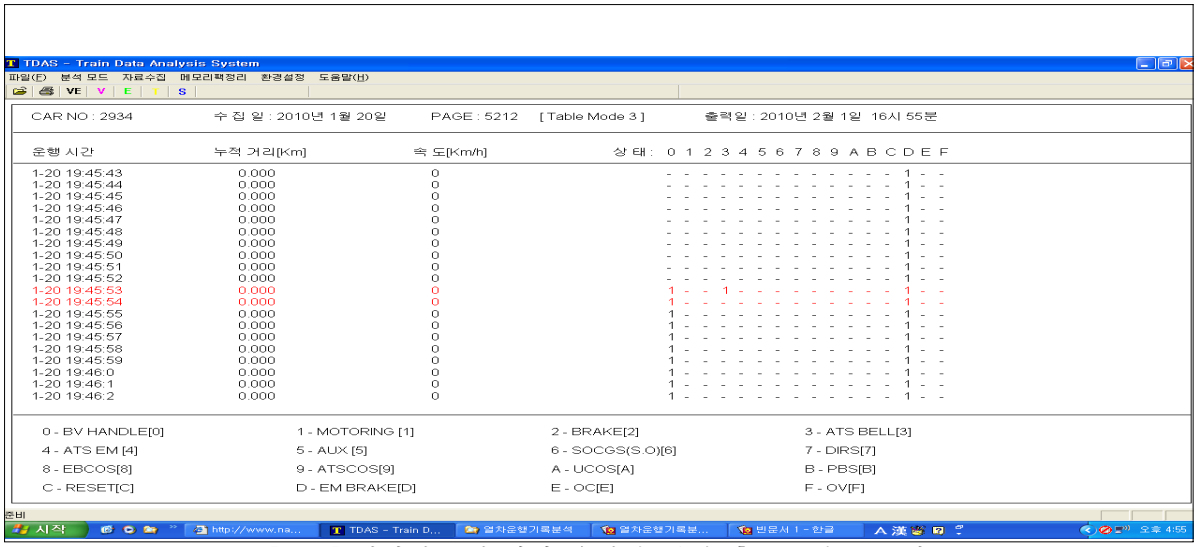
[표 6] 열차운행 상황 분석표

1.7.2. 사고열차 운전취급 기록

탈선차량의 속도기록계 기록사항은 [표 7]에서 부터 [표 11] 까지와 같다.



[표 7] 사고열차 운전취급 상황

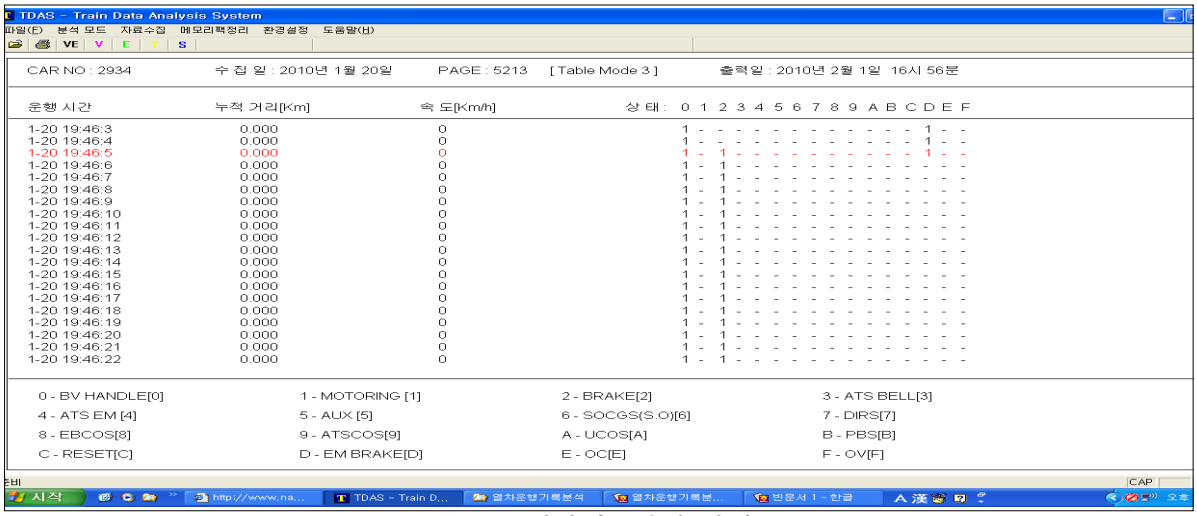

TDAS - Train Data Analysis System

CAR NO : 2934 수 집 일 : 2010년 1월 20일 PAGE : 5212 [Table Mode 3] 출력일 : 2010년 2월 1일 16시 55분

운행 시간	누적 거리[Km]	속 도[Km/h]	상 태 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F
1-20 19:45:43	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:44	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:45	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:46	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:47	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:48	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:49	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:50	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:51	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:52	0.000	0	- - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:53	0.000	0	1 - - 1 - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:54	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:55	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:56	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:57	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:58	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:45:59	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:0	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:1	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:2	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -

0 - BV HANDLE[0] 1 - MOTORING [1] 2 - BRAKE[2] 3 - ATS BELL[3]
4 - ATS EM [4] 5 - AUX [5] 6 - SOCGS(S.O)[6] 7 - DIRS[7]
8 - EBCOS[8] 9 - ATSCOS[9] A - UCOS[A] B - PBS[B]
C - RESET[C] D - EM BRAKE[D] E - OC[E] F - OV[F]

[표 8] 인상선(Y선)에서 운전실 변경 후 BV핸들 투입

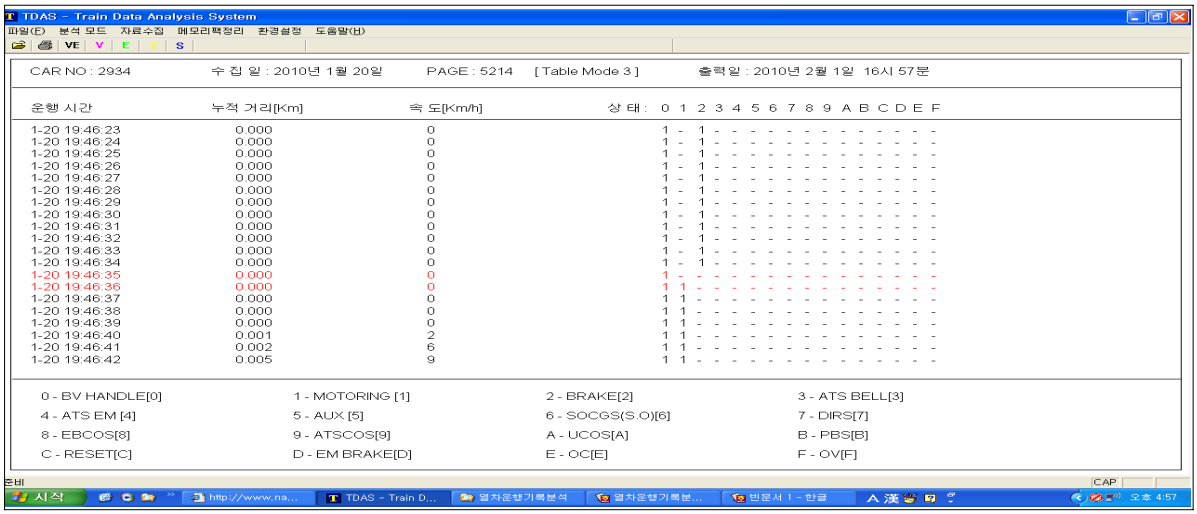

TDAS - Train Data Analysis System

CAR NO : 2934 수 집 일 : 2010년 1월 20일 PAGE : 5213 [Table Mode 3] 출력일 : 2010년 2월 1일 16시 56분

운행 시간	누적 거리[Km]	속 도[Km/h]	상 태 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F
1-20 19:46:3	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:4	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:5	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - 1 - -
1-20 19:46:6	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:7	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:8	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:9	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:10	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:11	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:12	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:13	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:14	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:15	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:16	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:17	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:18	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:19	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:20	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:21	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:22	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - - -

0 - BV HANDLE[0] 1 - MOTORING [1] 2 - BRAKE[2] 3 - ATS BELL[3]
4 - ATS EM [4] 5 - AUX [5] 6 - SOCGS(S.O)[6] 7 - DIRS[7]
8 - EBCOS[8] 9 - ATSCOS[9] A - UCOS[A] B - PBS[B]
C - RESET[C] D - EM BRAKE[D] E - OC[E] F - OV[F]

[표 9] 비상제동완해 상태

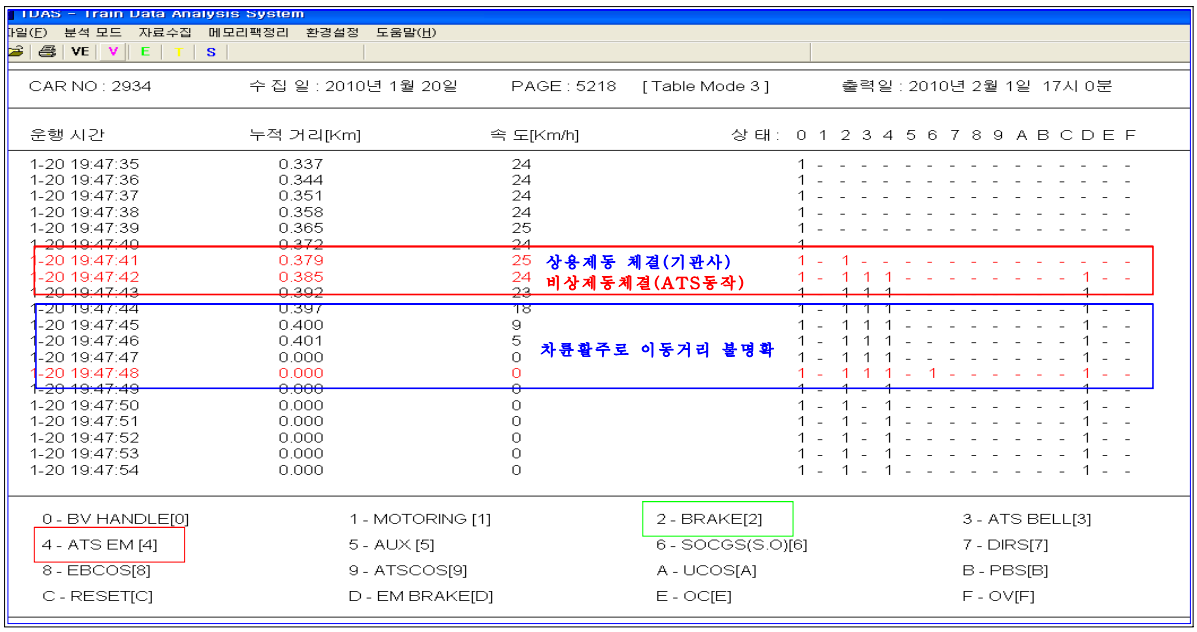

TDAS - Train Data Analysis System

CAR NO : 2934 수 집 일 : 2010년 1월 20일 PAGE : 5214 [Table Mode 3] 출력일 : 2010년 2월 1일 16시 57분

운행 시간	누적 거리[Km]	속 도[Km/h]	상 태 : 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 A B C D E F
1-20 19:46:23	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:24	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:25	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:26	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:27	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:28	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:29	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:30	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:31	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:32	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:33	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:34	0.000	0	1 - 1 - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:35	0.000	0	1 - - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:36	0.000	0	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:37	0.000	0	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:38	0.000	0	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:39	0.000	0	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:40	0.001	2	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:41	0.002	6	1 1 - - - - - - - - - - - - - -
1-20 19:46:42	0.005	9	1 1 - - - - - - - - - - - - - -

0 - BV HANDLE[0] 1 - MOTORING [1] 2 - BRAKE[2] 3 - ATS BELL[3]
4 - ATS EM [4] 5 - AUX [5] 6 - SOCGS(S.O)[6] 7 - DIRS[7]
8 - EBCOS[8] 9 - ATSCOS[9] A - UCOS[A] B - PBS[B]
C - RESET[C] D - EM BRAKE[D] E - OC[E] F - OV[F]

[표 10] 최초 역행상태



[표 11] 제동체결-정차시 까지(열차운행기록계 시간이 신호연동시스템 시간보다 50초 빠름)

1.7.3. 사고전동차 제동거리

사고전동차의 속도에 따른 제동거리는 아래의 [표 12]와 같다.

속도		제동거리(m)	속도		제동거리(m)
km/h	m/s		km/h	m/s	
5	1.39	3	52	14.44	118
8	2.22	6	55	15.28	131
10	2.78	8	58	16.11	145
12	3.33	10	62	17.22	164
15	4.17	14	65	18.06	178
8	5.00	19	68	18.99	194
20	5.56	23	70	19.44	205
22	6.11	26	72	20.00	216
25	**6.94**	**33**	75	20.83	233
28	7.78	40	78	21.67	250
30	8.33	45	80	22.22	262
32	8.89	50	82	22.78	275
35	9.72	58	85	23.61	294
38	10.56	67	88	24.44	314
40	11.11	74	90	25.00	327
42	11.67	81	92	25.56	341
45	12.50	91	95	26.39	363
48	13.33	102	98	27.22	385
50	13.89	110	100	27.78	400

[표 12] 사고전동차의 속도별 제동거리표

1.7.4. 사고전동차 이력

사고전동차는 1986년 8월 9일 도입하여 군자차량기지에 배속되어 최초 6량 편성으로 운행하였으며, 1992년 12월 12일 기존의 운행차량을 재편성(234호 편성 + 219호 편성 + 224호 편성)하여 운행하다가 1993년 10월 12일 신정차량사업소에 배속되었다.

1.8 사고전동차 정기검사

사고전동차는 아래 [표 13]과 같이 규정된 기간에 정기검사를 받은 것을 확인하였다. 그리고 탈선사고 후에 실시한 전반검사에서 운행안전과 관련되는 주행장치, 제동장치, ATS 차상장치 등에 대한 이상 유무를 확인한 결과 정상이었고, 기능검사 및 시운전에서도 모든 장치가 정상적으로 동작되었음이 확인되었다.

검사종별	전반검사[4]	일상검사[5]	월상검사[6]	중간검사[7]
검사일자	'10.1.28~2.26	'10.1.19	'09.11.25	'08.5.2~6.4

[표 13] 정기검사 종별 검사일자

1.9 취약구간 운전취급 교육

서울메트로는 신도림역의 경우 제2번선을 통하여 차량기지에 입고하는 경우 PSD 때문에 신호확인이 곤란하고 ATS지상자와 정지위치간 거리가 제동거리에 부족하며 과주여유거리(Overlap) 시간 설정이 짧아 사고가 발생할 우려가 있으니 주의하라는 교육을 시행한 사실이 없었다.

4) 전반검사 : 소정의 검사주기가 도래하였을 때 영구 결합부품을 제외한 해체 필요한 부품을 분해검사 · 수선 및 시험하여 전동차 성능을 최적의 상태로 유지시키는 검사를 말한다(약호 : 4Y, VVVF차량 6Y)
5) 일상검사 : 소정의 검사주기가 도래하였을 때 전동차 주요부품에 대한 작용상태와 기능확인을 시행하는 검사를 말한다.(약호 : 3D)
6) 월상검사 : 소정의 검사주기가 도래하였을 때 전동차 각 부의 작용상태, 주요 단위기기의 상태 점검 및 기능확인을 시행하는 검사를 말한다.(약호 : 2M, 3VVVF차량 3M)
7) 중간검사 : 소정의 검사주기가 도래하였을 때 주요부품을 분해검사 · 수선 및 시험하여 전동차 성능을 최적의 상태로 유지시키는 검사를 말한다(약호 : 2Y, VVVF차량 3Y)

2. 분 석

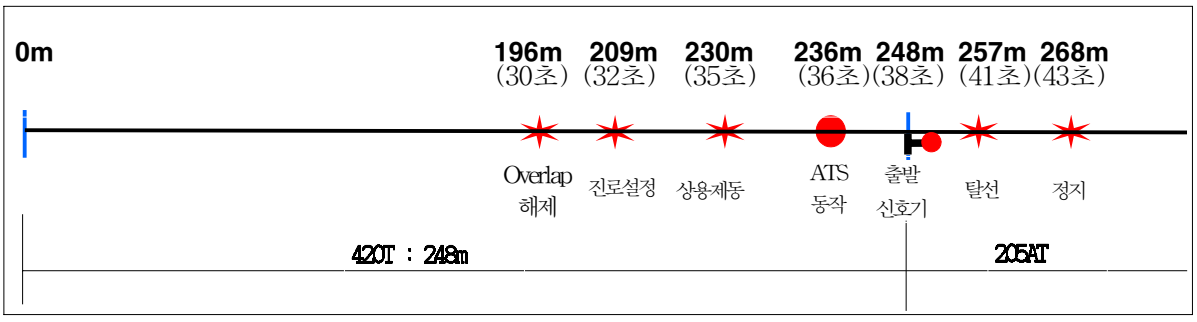
2.1. 사고열차 운행상황 분석

서울메트로 제2호선 제2375전동열차는 2010년 1월 20일 19시 40분 신도림역에 도착하여 승객을 모두 하차시킨 후 영업운행을 종료하고, 차량을 신정차량기지에 입고시키기 위하여 인상선(Y선)에 유치하였으며, 기관사는 지금까지 운전해 온 운전조작기능을 반대편에 있는 운전실로 변경시키고, 열차운전시각표에서 정한 제5946열차로 대기하였다.

기관사는 10번 입환신호기의 진행신호 현시에 따라 열차를 출발시킨 다음 속도를 증가시켜 25km/h 이하 속도로 제201A/B궤도회로를 지나 제420궤도회로에 진입하여 운행하였고, 관제사는 사고열차가 제420궤도회로에 진입한 30초 후(19시 46분 46초) 예약자동설정기능에 의해 과주여유거리(Overlap) 시간제한이 해제된 2초 후(19시 46분 48초) 2번선에서 신정지선 방향으로 사고열차가 운행할 수 있도록 제205A선로전환기를 전환하는 운전취급(수동취급설정)을 하였다.

기관사가 출발신호기 정지신호 확인을 소홀히 하고 운전하는 등의 경우 사고방지를 위해 설치된 ATS지상자는 정지위치인 출발신호기와 거리가 9m에 불과하여 사고열차가 24km/h 속도로 ATS지상자를 통과할 때 비상제동이 체결되었지만 제205A선로전환기 상으로 진입하는 것을 막을 수 없었다.

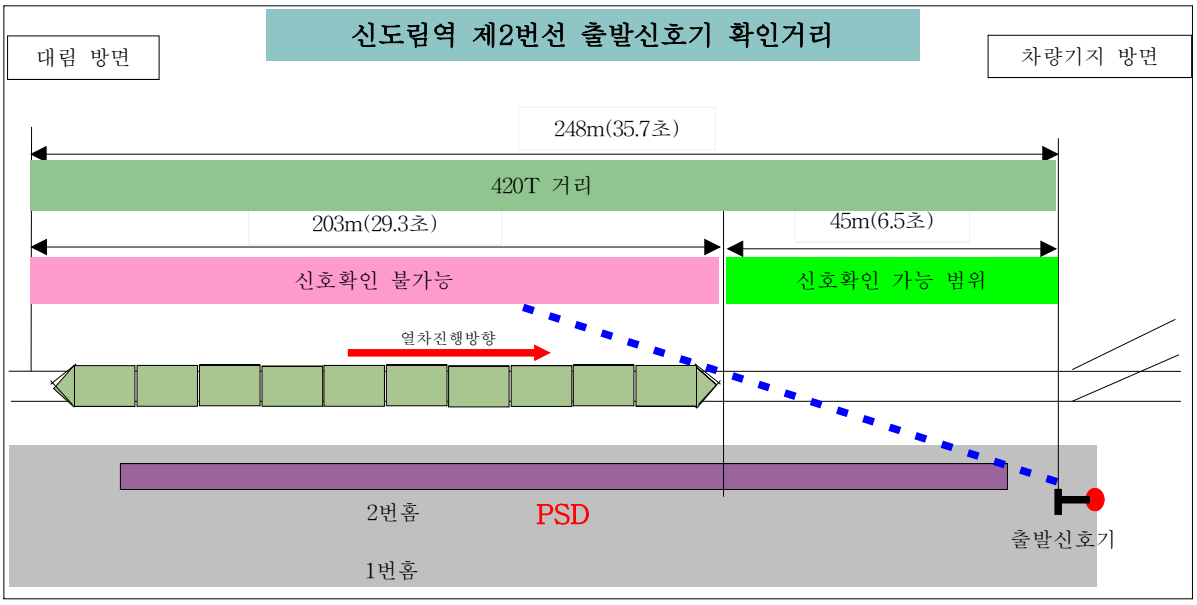
전환 중인 제205A선로전환기에 사고열차가 진입함에 따라 제1호차의 전부대차 차륜 제1위, 제2위, 제3위, 제4위가 진행방향 우측으로 탈선하였고 그 후 약 10.8m를 더 진행하다 정지하였다. 사고열차의 진행현황은 아래의 [표 14]와 같다.



[표 14] 사고열차 진행도

2.2. 기관사 업무수행 분석

서울메트로 운전취급규정 제189조 **'신호현시가 정확하지 않을 경우 정지신호의 현시가 있는 것으로 인정해야 한다'**에 의거, 기관사는 신호확인이 곤란한 경우 신호기 앞에 정차하여 전방에 대한 진로를 확인해야 하였으며 아래 [표 15]와 같이 사고 당시 출발신호기 45m 전방지점 부터는 투시거리가 양호하였으므로 전방주시 의무를 철저히 준수하여 정지신호를 확인하고 제동취급을 하였다면 출발신호기의 전방에 정지가 가능하였으나 적절한 운전취급을 하지 않았다.



[표 15] 신도림역 제2번선 출발신호기 확인거리

2.3. 관제사 업무수행 분석

관제사는 과주여유거리(Overlap) 시간 설정이 해제되었기 때문에 규정된 절차에 의해 출발신호기 내방에 있는 제205A선로전환기의 진로를 정위에서 반위로 전환하는 취급을 하였다.

2.4. 과주여유거리(Overlap) 설정 분석

신호기 오인 등으로 기관사가 열차를 정해진 정지위치에 정차시키지 못하고 그 위치를 지나칠 경우 외방 선로전환기 진로를 해당방향으로 쇄정하여 도중전환 없이 계속 진행할 수 있도록 과주여유거리(Overlap) 시간을 설정하여야 하나,

신도림역 제2번선은 신정차량기지 방면의 과주여유거리(Overlap) 설정시간이 30초(208m)로 짧게 설정되고 그에 따라 열차가 운행되고 있는 중에도 관제사에 의하여 제205A/B선로전환기가 전환될 수 있는 위험성이 내재되어 있었다.

2.5. ATS 지상자 설치위치 분석

신도림역 제2번선 까치산방향에 설치된 ATS지상자와 출발신호기간 거리가 9m에 불과하여 25km/h 속도로 운행되던 사고열차에 비상제동이 체결되었음에도 불구하고 충분한 제동거리가 확보되지 않아 정지위치에 정차할 수 없는 상황이었다.

2.6. 출발신호기 위치 분석

출발신호기는 기관사가 충분한 거리에서 육안으로 확인할 수 있는 위치에 설치되어야 하나, 신도림역 16번 출발신호기의 경우 승강장 PSD설치로 인하여 투시거리가 덩초의 248m에서 45m로 감소되었음에도 불구하고 동 출발신호기를 다른 적절한 위치로 이전하거나 중계신호기를 설치하는 등 필요한 조치가 취해지지 아니하였다.

2.7. 신호보안장치(ATS, ATO/ATP) 운용현황 분석

서울메트로는 노후로 교체시기가 도래된 기존 ATS장치를 새롭게 기능이 향상된 ATP(Automatic Train Protection) 지상장치와 ATO차상장치로 개량 중에 있는 바,

ATP지상장치는 이미 개량작업이 완료되어 2007년 12월부터 사용 중에 있으나,

ATO차상장치는 설치가 지연되고 있어 인적오류와 시설물 오류에 따른 사고발생 가능성이 상존하고 있다.

2.8. 기타 시설물 분석

도상, 궤도 등 기타 시설물은 문제점이 없는 것으로 파악되었다.

2.9. 취약구간 운전취급 교육

서울메트로는 분기별 5일 또는 10일간에 걸쳐 1일 3시간씩 운전취급규정 등이 포함된 직무교육을 시행하였으나, 신도림역 제2번선에서 신정차량기지로 운행하는 경우 본선 반대방향으로 운행해야 하는 취약한 조건임에도 불구하고 이에 대한 교육을 시행한 실적이 없었다.

3. 조사결론

3.1. 조사결과

3.1.1. 사고 당시 관제사가 정해진 절차에 따라 과주여유거리(Overlap) 시간 설정이 해제된 후 출발신호기 후방 3m 지점에 설치된 제205A/B선로전환기를 정위에서 반위로 전환하는 운전취급을 하여 해당 선로전환기가 전환되고 있는 상태였다.

3.1.2. 기관사는 출발신호기에 정지신호가 현시되고 있었는데도 이를 확인하지 못하여 사고열차를 정지위치에 정차시키지 못하고 계속 주행하였다.

3.1.3. 이때, 열차가 신호기의 현시조건을 무시하고 진행하는 경우 열차를 자동으로 정지시키기 위해 설치한 ATS지상자의 설치위치와 정지위치간 거리가 제동거리(33m)보다 짧은 9m 밖에 되지 않아 ATS동작에 의한 비상제동이 체결되었음에도 불구하고 미급하여 정지위치에서 정차하지 못하였다.

3.1.4. 운행열차가 제205A선로전환기의 전방에 있는 제420궤도회로 내에 완전히 진입한 후 과주여유거리(Overlap) 시간의 설정에 따라 선로전환기의 전환취급이 가능하여야 하나 사고구간은 과주여유거리 설정시간이 짧아 열차가 완전히 해당 궤도회로에 진입되지 않은 상태에서 선로전환기의 전환취급이 가능하여 사고발생에 기여하였다.

3.1.5. 기관사의 전방주시 방향에 2006년 6월 PSD가 설치됨에 따라 투시거리가 45m로 제한되어 기관사의 출발신호기 식별에 지장이 초래되었고, 이러한 운전조건에 대한 사전교육도 없었으며, 서울메트로 신호설비보수규정 제 7 조“신호기의 신호현시를

분별하기 어렵게 하는 지장물 또는 신호현시를 방해하는 시설물 기타 지장을 줄 우려가 있는 지장물은 관계부서와 협의하여 제거 또는 이설하는 등 필요한 조치를 취하여야 한다" 규정에도 위배 되었다.

3.1.6. 신호설비 개량사업으로 지상장치는 이미 ATP로 개량이 완료(2010년 7월) 되었으므로 ATO차상장치 설치를 조속히 완료할 필요가 있다.

3.1.7. 서울메트로가「철도시설 안전기준에 관한 규칙(국토해양부령)」제35조에 의거하여 운영하고 있는 신호설비보수규정(1985. 8. 3. 제정)에 신호기의 투시거리에 관한 기준이 없다.

3.1.8. 도상, 궤도 등 기타 시설물은 문제점이 없었다.

3.2. 사고원인

이 사고는, 신도림역 제2번선의 ATS지상자 설치위치가 부적절하고 과주여유거리(Overlap) 설정시간이 부족하며 PSD설치로 인하여 투시거리가 제한된 상태에서, 출발신호기에 정지신호가 현시되고 있음에도 불구하고 기관사가 신호확인을 소홀히 하여 정지위치에 사고열차를 정차시키지 못하여 발생되었다.

4. 안전권고

4.1. 서울메트로에 대하여 다음과 같이 안전권고 한다.

4.1.1. 기관사가 신호확인하는 규정을 철저히 준수토록 조치할 것.

4.1.2. 아래 4.1.3. 부터 4.1.5. 까지의 조치가 완료될 때까지는 신도림역 제2번선을 이용한 입고를 제한할 것.

4.1.3. 각역의 정지위치와 ATS지상자간의 거리가 충분히 확보되도록 보완할 것.

4.1.4. 신도림역 제2번선의 과주여유거리(Overlap) 설정 시간을 적정수준으로 보완할 것.

4.1.5. 각역에 설치된 PSD로 인하여 신호기의 투시불량이 발생되지 않도록 보완할 것.

4.1.6. ATO차상장치 설치를 조속히 완료할 것.

4.1.7. 신호설비보수규정에 신호기 투시거리 기준을 추가할 것.

4.1.8. 차량기지 입출고선의 운전취급 주의사항에 대하여 기관사, 선로상을 운전하는 장비운전자, 신호원 등 관계인에 대한 교육을 강화할 것.