

보고서 번호

ARAIB/R-09-01

서울특별시도시철도공사 7호선 온수역 전동열차 탈선('08.08.14.)

철도사고조사보고서



2009. 7. 13.



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. 사고 개요 1

 2. 조사 개요 1

II. 사실 정보 2

 1. 사고 경위 2

 2. 탈선 현장 조사 3

 3. 피해 사항 5

 3.1 인명 피해 5

 3.2 물적 피해 5

 3.3 기타 피해 5

 3.4 복구 5

 4. 기상 정보 6

 5. 기관사 인적 정보 6

 5.1 인사기록 6

 5.2 승무적합성 검사기록 6

 5.3 기관사 면담기록 6

 5.4 기관사 교육기록 7

 6. 관계자 진술 7

 6.1 기관사 진술 7

 6.2 관제사 진술 8

 6.3 검수관계자 진술 8

 7. 열차 정보 9

 7.1 열차 제원 9

 7.2 차상 ATC 장치 11

 7.2.1 일반 사항 11

 7.2.2 차상 ATC 장치 결함 확인 13

 7.2.3 사고열차 주행시험 15

 8. 열차 운행정보기록, 선로 신호기록 및 기관사 통화기록 16

 8.1 사고열차 운행정보기록 16

8.2 사고열차 '08년도 운행정보기록 분석	17
8.3 신호기록 분석	18
8.4 기관사 통화기록 분석	19
9. 신호설비 및 차량 유지보수	19
9.1 신호설비 유지보수	19
9.2 차량 유지보수	20
9.2.1 차상 ATC 장치 유지보수 현황	20
9.2.2 차량 고장이력	21
III. 원인 분석	22
1. 운전취급 적정 여부	22
2. 신호시스템 동작 적정 여부	26
3. 차량 PCB 전자부품 유지보수 문제점	26
4. 탈선 상황	27
IV. 조사 결론	29
1. 조사 결과 요약	29
2. 탈선 원인	30
V. 안전 권고	31
VI. 부록	32

철도사고조사보고서

운영기관 : 서울특별시도시철도공사
 운행노선 : 7호선
 발생장소 : 온수역구내(서울특별시 구로구 온수동 소재)
 사고유형 : 열차탈선(전동열차)
 사고일시 : 2008. 8. 14(목) 05:52경

I. 개요

1. 사고 개요

2008년 8월 14일(목) 05시 52분경, 서울특별시도시철도공사 천왕차량기지(이하 “천왕기지”라 한다)에서 출고된 제1909열차(760편성)(이하 “사고열차”라 한다)가 7호선 온수역구내에 진입하던 중 101호 선로전환기 지점에서 첫 번째 차량 후부 대차 및 두 번째 차량 전부대차가 탈선하였다.

2. 조사 개요

항공·철도사고조사위원회(이하 “조사위원회”라 한다)에서는 전동열차 탈선의 정확한 원인 규명과 사고재발 방지를 위한 대책을 수립하고자 항공·철도 사고조사에 관한 법률 제18조(사고조사의 개시 등)에 의거하여 다음과 같이 사고조사를 실시하였다.

- 탈선 지점에서의 차량 탈선 상태와 차량, 선로시설, 신호시설 등의 피해 상황 확인
- 열차운행정보기록, 신호기록, 선로 유지보수기록, 차량 검수기록 등의 증거자료 확보
- 기관사를 포함한 관제사, 차량 검수관계자 등의 진술자료 확보
- 차량기지에서 열차 운행과 관련한 시험
- 확보한 조사자료 분석
- 사실조사보고서 작성 및 관계자인 서울도시철도공사의 의견 청취
- 조사보고서 작성

II. 사실 정보

1. 사고 경위

2008년 8월 14일(목) 05시 38분경에 천왕차량기지를 출발한 8량 편성의 제1909 전동열차는 천왕역을 무정차 통과한 후,

상행선 출발역인 은수역구내에 진입하던 중 05시 52분경에 선두차인 7160호 후부 대차와 두 번째 차량인 7260호의 전·후부 대차가 그림 1과 같이 분기기(1)의 101호 선로전환기 침단부를 지나 측선 진행방향 선로 좌측으로 탈선 정차하였다.

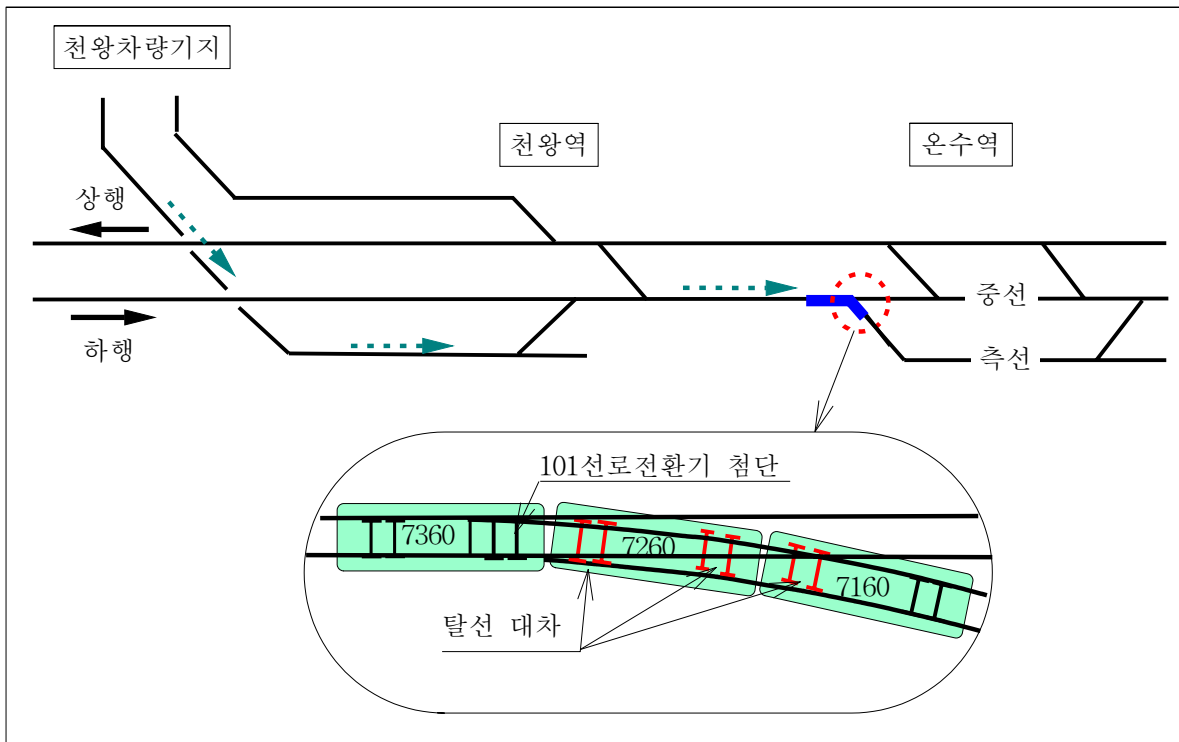


그림 1. 탈선 위치 개략도

(1) 분기기[分岐器(Turnout)] : 궤도상에서 열차 또는 차량을 한 궤도에서 다른 궤도로 이동시키기 위하여 궤도상에 설치한 장치. 분기기는 포인트(Point)부, 리드(Lead)부 및 크로싱(Crossing)부로 구성된다.

2. 탈선 현장 조사

현장을 조사한 내용은 다음과 같다.

- 선두차(7160호) 후부 대차 및 두 번째 차량(7260호) 전·후부 대차가 진행방향 선로 좌측으로 탈선 정차되었다.
- 차량이 진행방향 좌측의 텅레일(2)을 긁으면서 올라 탄 흔적이 발견되었다.
- 차량이 궤도를 이탈하면서 선로의 베이스플레이트, 침목 등을 손상시켰다.
- 선두차 후부 대차 5위 및 7위의 제동 디스크가 탈선 충격에 의해 그림 2와 같이 파손되었다.

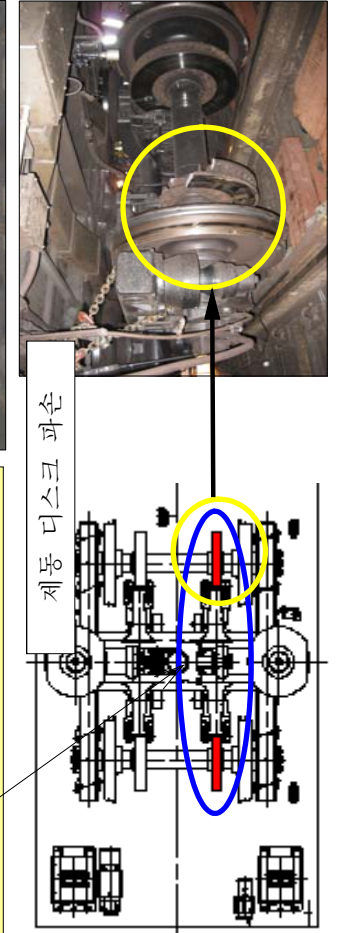
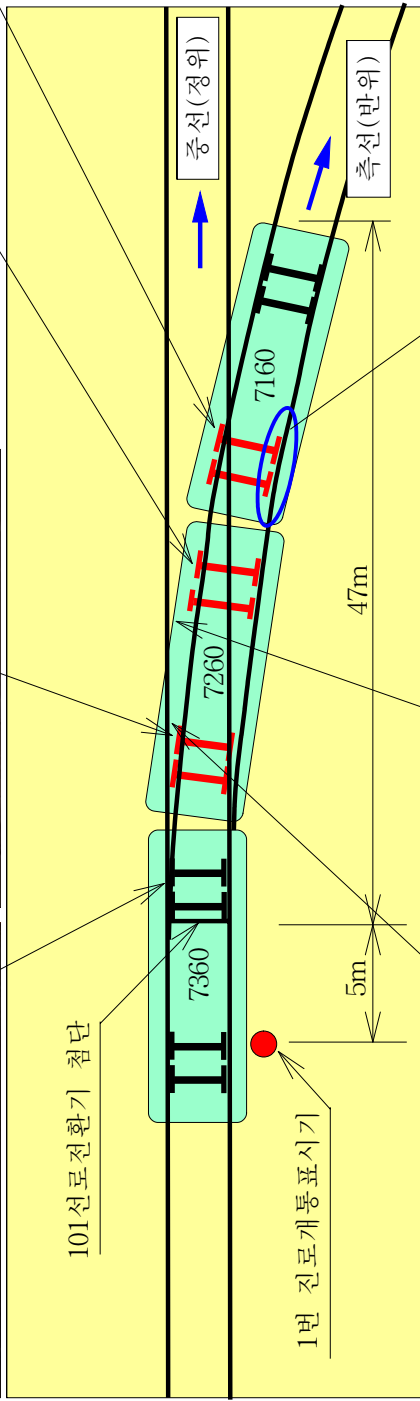
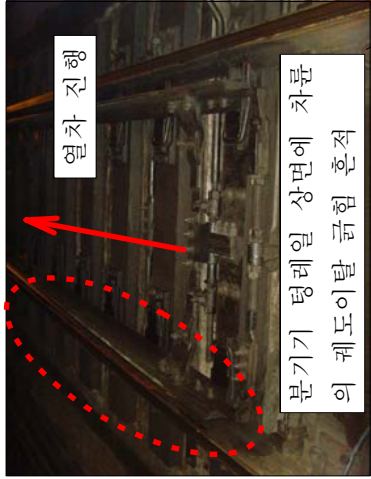


그림 2. 파손된 제동 디스크

탈선 현장의 상황은 그림 3과 같다.

(2) 텅레일(Tongue rail) : 레일을 절삭가공하여 끝단을 기본레일에 밀착시켜 차량의 방향을 분기시키는 역할을 하는 비대칭형 단면 레일

그림 3. 운수역 탈선 현장 상황도



3. 피해 사항

3.1 인명 피해

인명 피해는 발생하지 않았다.

3.2 물적 피해

물적 피해는 총 1,706,703원이 발생하였으며, 상세 내역은 다음과 같다.

- 차량 제동디스크(선두차 5, 7위) 파손으로 차량 피해액 1,120,000원
- 절연이음매판, 절연볼트 등 파손으로 신호시설 피해액 183,024원
- 베이스플레이트, 코일스프링 등 파손으로 선로시설 피해액 403,679원

3.3 기타 피해

기타 피해로는 열차 전구간 운휴 및 구간 운휴에 따른 승차권 반환료 295건, 303,400원이 발생하였다.

- 전구간 운휴 : 6개 열차
- 구간 운휴 : 127개 열차(천왕↔은수 117개, 보라매↔은수 10개)

3.4 복구

사고현장 복구에는 총 6시간 28분이 소요되었고, 정상운행은 12시 20분경에 이루어졌다.

사고 이후의 복구상황은 표 1과 같다.

시각(시:분)	복 구 상 황
05 : 52	1909열차 탈선
06 : 06	관련부서 비상출동 발령
06 : 45	사고복구반 도착
08 : 00	천왕역~은수역간 상선 단선운행 개시
11 : 35	탈선대차 복구 완료
12 : 05	사고열차 은수역 인상선 유치
12 : 20	완전복구 정상운행

표 1. 사고이후 복구상황

4. 기상 정보

탈선사고 당일의 기상은 최저기온 24.9℃, 최고기온 31.5℃의 구름이 약간 낀 맑은 날씨로써 열차 운전에 영향을 미칠만한 기상상태는 아니었다.

5. 기관사 인적 정보

5.1 인사기록

기관사(최○○, 42세)는 1995년 1월 23일 임용되었고, 2004년 4월 19일자로 대공원 승무관리소 승무직으로 발령받아 만 4년 4개월 동안 무사고로 근무하고 있었다.

2007년도에는 우수직원으로 사장 표창을 받은 기록이 있으며, 기타 인사기록상 특이한 사항은 없었다.

5.2 승무적합성 검사기록

기관사 근무기록부를 확인한 결과, 기관사는 13시간의 휴양시간을 가진 후 8월 13일(수) 18:00에 출무하였고, 757편성 열차(사고열차 전 운전 열차)를 운전하기 전에 음주, 약물 및 기타 심신상태를 검사하는 승무적합성 검사는 양호하였고, 또한 일일교육을 정상적으로 이수한 것으로 기록되어 있었다.

입출고 기록부에는 8월 13일 저녁 9시 35분에 757편성 운행을 마친 후, 사고 당일(8월14일) 오전 4시 48분에 출무하였으며 760편성(1909열차)를 운행하기 전 실시한 승무적합성 검사는 적합한 것으로 기록되어 있었다.

5.3 기관사 면담기록

분기당 1회 실시하는 기관사 개인면담 기록부에 고충내용 상담 및 처리결과에 대한 기록은 없었다.

5.4 기관사 교육기록

전체 기관사에 대해 실시하는 교육·훈련은 각 분기별로 일일교육에서부터 비상조치 실무교육 및 비상대응훈련, 지도승무교육, 소방교육을 포함하여 열차운행 중 발생한 이례사항에 대한 특별교육 등을 실시한 것으로 확인되었다.

6. 관계자 진술

6.1 기관사 진술

기관사의 주요 진술 내용은 다음과 같다.

- 천왕기지 출발 시에 진행 신호가 현시되어서 열차를 출발시켰다.
- 선로 운행 경력은 5년째로 하루 두 차례 운행한다.
- 천왕역 도착하기 전 선행열차와 같이 천왕역 진입 대기하고 있는 상태일 때, 관제에서 선행열차에게 무선전화로 신속히 이동하라는 통보가 있었다.
- 천왕역 5번 진로개통표시기(3)가 통상 정지 현시되는데, 이번에는 진행 현시되어 천천히 진행한 것 같다. 혹시 운전취급을 잘못된 것이 있다면 이 부분이 아닌가 생각된다.
- 출고선 신호기인 2A번 진로개통표시기 부근에서 자동으로 운전모드(4)가 변경이 안 되면 수동으로 전환하여야 하는 것에 대해서는 사고사례 교육을 받은 적이 없고 항상 자동으로 전환이 되었기 때문에 확인을 결여한 것 같다.

(3) 진로개통표시기 : 차내신호기를 사용하는 본선로의 분기부에 설치하여 진로의 개통상태를 표시하는 것.

※ 차내신호기(ADU:Aspect Display Unit) : 지상장치의 속도정보를 차상장치에서 수신하여 이를 운전실 내에 설치한 표시장치 에 현시하는 것을 말한다.

(4) 운전모드 : 기관사에 의해 선택되는 자동열차제어장치(ATC:Automatic Train Control) 운전모드 선택 스위치의 주요 기능은 다음과 같다.

- 무인모드 : 본선구간에서 사용, 운전자 개입없이 완전 자동
- 자동모드 : 역과 역간 자동 운행, 지상신호의 속도제한을 자동열차운전장치(ATO:Automatic Train Operation)에 부여
- 수동모드 : 지상신호의 속도제한에 따라 기관사 수동 운행
- 기지모드(YD) : 기지에서 기관사 수동으로 운행, 25km/h 제한속도, 본선에 진입 시 자동으로 기지모드 취소됨
- 비상모드 : ATC 고장 시 백업용으로 사용

- 은수역 진입 시 1번 진로개통표시기 개통을 확인하고 진입하였다고 생각했는데 기록을 보니까 진로개통표시기가 정지로 현시된 것을 확인하였다.

6.2 관제사 진술

관제사의 주요 진술 내용은 다음과 같다.

- 사고 당시 은수역 신호기는 스케줄에 의하여 종합열차제어장치(이하 “TTC” 라 한다)⁽⁵⁾로 운용되었다.
- 사고열차의 운전방식은 수동운전이다.
- 자동열차제어장치(이하 “ATC” 라 한다)운전의 경우 차량 이상은 기관사 통보에 의해서만 알 수 있다.
- 운전모드 전환이 안 되는 상황은 이전에는 발생하지 않았다.

6.3 검수관계자 진술

검수관계자의 주요 진술 내용은 다음과 같다.

- 주ATC장치가 고장인 경우 보조ATC로 전환되며, 보조ATC도 고장인 경우 비상제동이 체결된다.
- 기지모드로 운행 시 진로개통표시기 정지, 선로절단 등이 발생하면 경고음이 울리며 상용 전제동(FSB:Full Service Brake)이 체결된다.
- 현재까지 PCB고장이 발생하였으나 열차종합제어장치(이하 “TCMS” 라 한다)⁽⁶⁾ 모니터상에서 인지를 못하였으며 사전에 고장을 인지할 수 있는 방법이 없었다.

(5) 종합열차제어장치(TTC:Total Traffic Control) : 열차운행도표(다이아)와 열차정보를 조합, 운행제어용 컴퓨터가 정보송수신장치(DTS:Data Transmission System)을 통해서 열차 또는 차량의 진로를 자동적으로 제어하는 것과 동시에 운행상황표시, 운전정리, 열차운행정보기록, 통계기록 등을 행하는 기능을 갖춘 장치를 말한다. 다른 표현은 계획된 열차운행 프로그램에 의하여 열차운행 제어컴퓨터가 데이터전송시스템을 통하여 열차의 진로를 자동적으로 제어하는 장치.

(6) 열차종합제어장치(TCMS:Train Control and Monitoring System) : 중앙집중식 차내정보 제어를 위한 마이크로컴퓨터시스템으로서, 승무원에게 운행 지원을 하며 장비의 유지보수와 점검을 신속하게 할 수 있게 하는 시스템

7. 열차 정보

7.1 열차 제원

탈선 차량인 Tc차 및 M1차의 일반도 및 기기배치도는 그림 4와 같다.

사고열차의 주요 제원은 표 2와 같다.

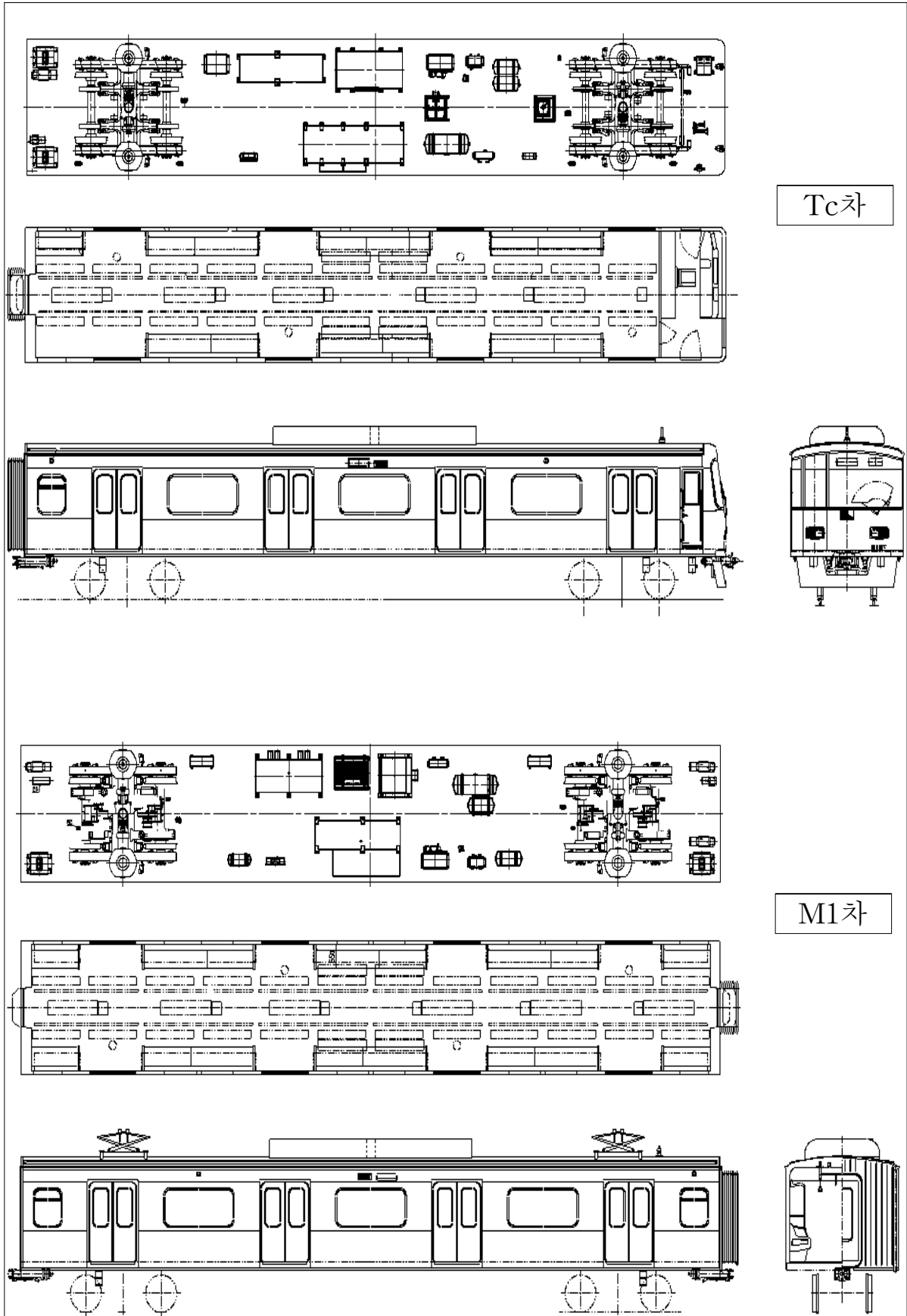
구 분	제 원		
편성번호	760편성		
편성도 (차량번호)	Tc - M2 - M1 - T2 - T1 - M2 - M1 - Tc (7060) (7760) (7660) (7560) (7460) (7360) (7260) (7160)		
전동차형식	전금속제 통근형 직류전차		
제조사	한진중공업주식회사		
영업개시일	2000. 8. 1		
가선전압범위	1,000 ~ 1,800 V		
연결면간 길이	20,000 mm		
차체길이	19,500 mm		
차체폭	3,180 mm		
차체높이	3,600 mm		
차중	Tc ⁽⁷⁾	34 ton	
	M1 ⁽⁸⁾	36 ton	
	M2	36 ton	
	T ⁽⁹⁾	29 ton	
제동장치	제동방식		
	기초제동	Tc, T	혼합제동(전기+공기) 디스크 제동
		M1, M2	답면 제동

표 2. 열차 제원

(7) Tc(제어차) : 운전실이 있고 동력을 갖지 않는 차량

(8) M(동력차) : 운전실이 없고 동력을 가진 차량

(9) T(부수차) : 운전실과 동력을 갖지 않는 차량



Tc차

M1차

그림 4. 차량 일반도 및 기기배치도

7.2 차상 ATC 장치(On-board ATC System)

7.2.1 일반 사항

차상 ATC 장치 및 관련 장치 개략도는 그림 5와 같고, 주요 기능은 다음과 같다.

- ATC시스템은 선형열차와의 간격 및 진로조건에 따라서 주행구간을 시속 몇 km로 달려야 한다는 적극적인 속도제어 명령을 궤도회로(10)에 직접 보내주고, 이를 차량의 ATC 안테나가 받아서 차내신호기에 열차의 속도를 지시하는 신호를 연속적으로 현시함에 따라서 자동 작용에 의해 열차의 속도를 제어한다.
- 차상 ATC 장치는 운전실에 주 ATC 카드파일, 보조 ATC 카드파일, TWC(11)/ATO 카드파일, 인터페이스 카드파일 및 전원 공급 장치가 하나의 랙(Rack)에 설치되어 있다.
- 자동열차운전장치(ATO)는 역과 역 사이에서 전동차를 자동으로 운전하는 장치로서, 차내신호의 현시조건에 따라 열차의 가속, 감속 및 정지 이외에 정속주행, 정위치 정차 등을 자동적으로 행하는 기능을 가진다.
- 주 ATC 카드파일은 모두 12개의 인쇄회로기판(이하 “PCB” 라 한다)으로 구성되어 있고, 그 중 이중 필터 복조기(Dual Filter) PCB 및 디코더(Decorder) PCB의 기능은 다음과 같다.
 - 이중 필터 복조기(Dual Filter) PCB : 지상의 궤도회로로부터 차상 ATC 안테나를 통해 수신된 두개의 신호 반송파(4,550Hz와 5,525Hz)⁽¹²⁾ 중 하나 혹은 전부를 복조⁽¹³⁾하고, 복조된 신호를 디코더 PCB에 보낸다.
 - 디코더 PCB : 이중 필터 복조기로부터 입력된 신호코드를 해독하여 속도제한, 출입문제어 등을 위해 중앙처리장치(이하 “CPU” 라 한다)로 전송한다. 속도 코드 분류는 표 3과 같다.

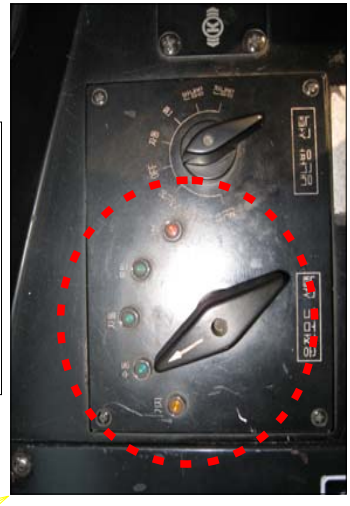
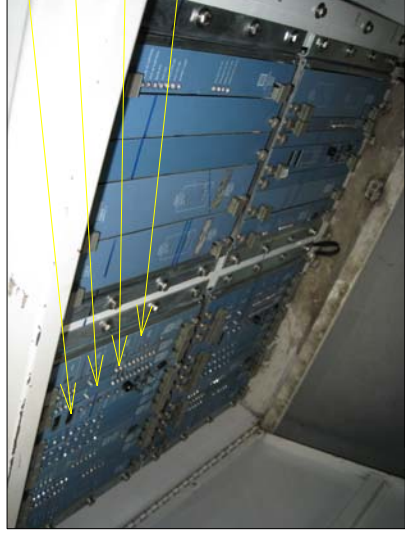
(10) 궤도회로(Track Circuit) : 어느 구간내에서 열차의 유무를 자동적으로 검지하는 방법의 하나이며, 궤도회로는 레일을 전기회로의 일부로 이용하여 회로를 구성하며, 이 회로를 차량의 차축으로 레일사이를 단락시킴에 따라 신호기, 선로전환기 등을 직접 또는 간접적으로 제어, 더욱이 궤도회로는 ATC구간에 있어서 레일에 흐르는 전류에 의하여 차상에 취부된 수신기를 거쳐 열차내로 신호정보를 전달하는 작용을 한다.

(11) 차상 지상간 통신장치(TWC:Train to Wayside Communication) : 열차와 지상 신호보안장치와의 데이터를 송수신하는 장치로서, 열차번호, 역코드, 출입문 개폐방향, 주행모드 등의 정보를 송수신

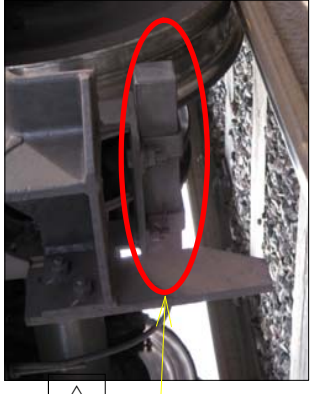
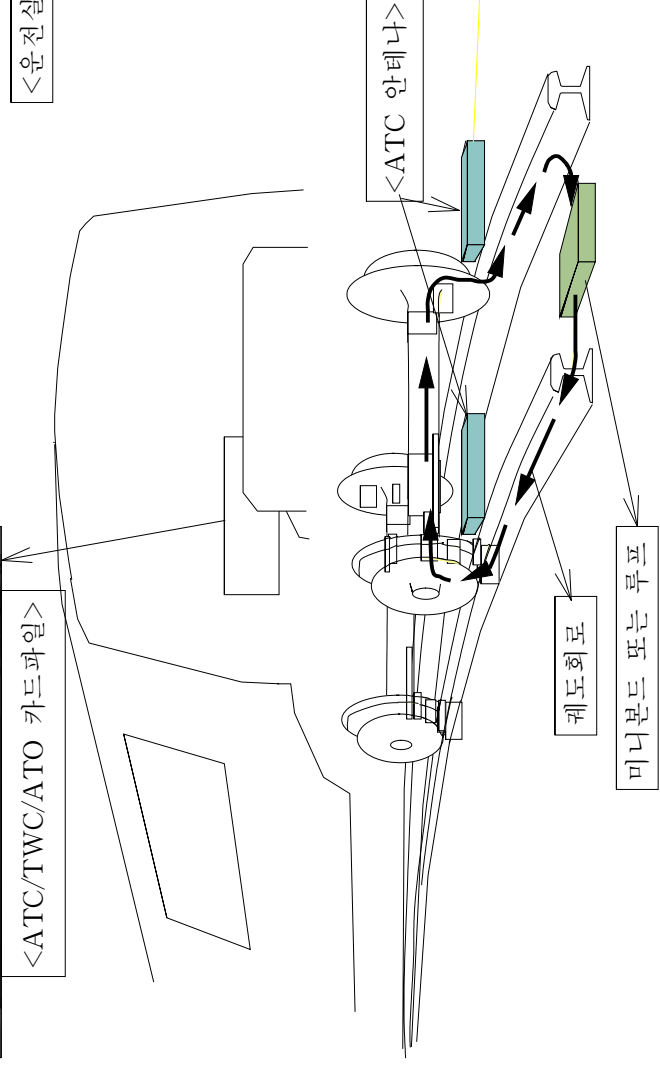
(12) 반송파(Carrier Wave) : 전파통신을 할 때 보내야 할 신호의 운반수단이 되는 높은 주파수의 전파

(13) 복조 : 전파가운데서 필요한 것만 골라서 갈라내는 것

그림 5. 차상 ATC 장치 및 관련 장치



- 주CPU PCB
- 디코더 PCB(FH)
- 디코더 PCB(FL)
- 이중필터복조기 PCB



반송파 (FL)	코드 (Hz)	속도코드 지령	반송파 (FH)	코드 (Hz)	속도코드 지령
4550 (Hz)	2.0	Key down	5525 (Hz)	2.0	Key up
	3.0	정지(01)		3.0	기지(25km/h)
	4.5	25km/h		4.5	65km/h
	6.83	35km/h		6.83	70km/h
	10.1	45km/h		10.1	75km/h
	15.3	55km/h		15.3	80km/h
	21.5	60km/h		21.5	90km/h
	27.5	좌측문 열림		27.5	우측문 열림

표 3. ATC 속도코드 분류

7.2.2 차상 ATC 장치 결합 확인

열차가 천왕기지의 출고선에서 본선에 진입할 때 기지모드가 수동모드로 자동 전환되지 않고 그대로 유지되었던 것을 열차 운행정보기록으로 확인하였다.

기지모드가 수동모드로 전환되지 않은 원인을 파악하는 과정에서 검수 담당직원이 오래전에 주 ATC 장치의 디코더 PCB를 취급했던 기억이 있다고 진술함에 따라 이를 확인한 결과, 그림 6과 같이 주 ATC 장치의 디코더 PCB(FL)에 부착되어 있어야 할 콘덴서(14)가 제거된 것을 확인하였다.

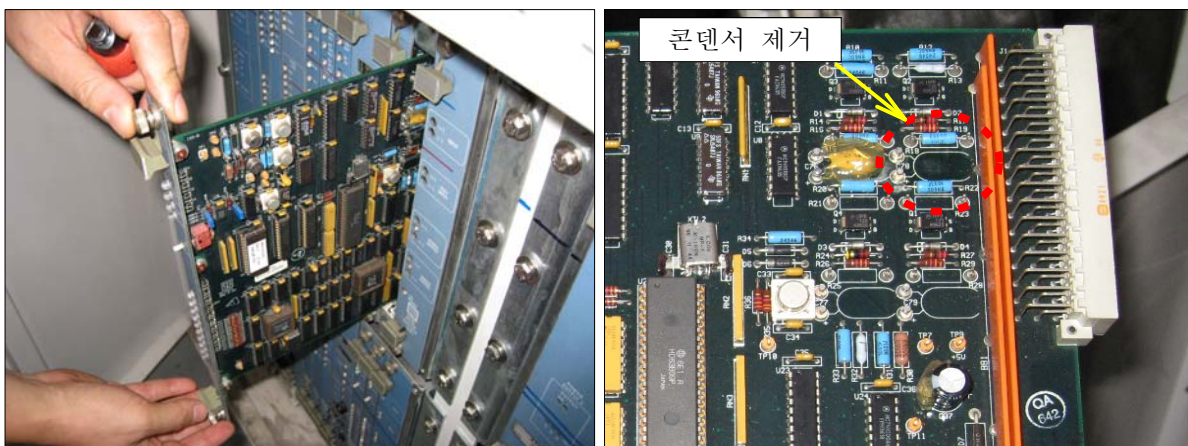


그림 6. 콘덴서가 제거된 디코더 PCB(FL)

(14) 콘덴서(Condenser) : 축전기 기능을 가지며, 또한 서지(Surge), 리플(Ripple), 노이즈(Noise) 등을 차단하는 기능을 가진다.

검수 담당직원이 진술한 주요 내용은 다음과 같다.

- 탈선사고가 발생한 직후 디코더 PCB를 취급했던 기억이 있어 이를 차량 관리소장에게 보고하였다.
- 콘덴서가 제거된 디코더 PCB의 취급 경위는 오래된 일이라 정확히 기억할 수 없었다.
- 임의로 영업 대기중인 차량에서 디코더 PCB의 콘덴서를 분리하여 용량 측정 등의 시험을 한 다음 미처 재부착하지 않은 것으로 생각된다.

7.2.3 사고열차 주행시험

디코더 PCB의 콘텐서가 제거됨으로 인해 열차가 지상으로부터 속도코드를 수신하지 못하고 기지모드 상태 그대로 유지되는 것과 이를 열차종합제어장치(TCMS)가 고장으로 인식하지 못한다는 것을 표 4와 같이 사고열차의 주행시험으로 확인하였다.

시험내용	시험결과	비고
① 출발 전 시험(15) 및 신호취급실 속도코드 수신상태 시험		
출발 전 시험	정지코드→25(M)→35(M)→45(M)→55(M)→60(M)→65(M) →70(M)→75(M)→80(M)→90(M)→출입문L,R개방→정지코드	정상
속도코드 수신상태	정지코드→25(M)→35(M)→45(M)→55(M)→60(M)→25(Y) →65(M)→70(M)→75(M)→80(M)→90(M)→정지코드	정상
② 기지구내에서 설정한 기지모드(YD)가 본선 ATC 구간에서의 유지여부 확인시험		
검사고(기지모드) → 출고선	출고선 및 본선에서 기지모드 상태가 그대로 유지	비정상
검사고(기지모드) → 출고선(자동모드 임의 설정)	자동운전 출발 가능	정상
검사고(기지모드) → 출고선(수동모드 임의 설정)	수동운전 출발 가능	정상
③ 기지모드(YD)가 시험운전선 ATC 구간에서의 유지여부 확인시험		
출발선(기지모드) → 시험운전선	90 및 80코드(FH값) 수신시 : 자동/수동운전 가능	정상
	60코드(FL값) 수신시 : 기지모드(YD) 상태가 그대로 유지	비정상
④ 정상 디코더 PCB(Serial no 5297005)로 교환후 본선 ATC 구간에서의 유지여부 확인시험		
검사고(기지모드) → 출고선	출고선 및 본선에서 속도코드 자동 수신으로 수동모드로 정상 변경 확인	정상

표 4. 사고열차 주행시험

(15) 출발 전 시험(PDT) : 열차가 기지를 떠나기 전 차량의 주요 기능을 확인하는 시험으로 운전자의 조작으로 시작되어 TCMS에 의해 실행된다. 주/보조 ATC 장치 기능시험이 포함된다.

사고열차 주행시험에서 확인된 바와 같이, 출고선부터 은수역까지 전구간이 저속의 4550Hz(FL) 신호구간으로서 4550Hz를 담당하는 디코더 PCB(FL) 결함으로 인해 지상신호를 수신하지 못하여 본선 운행모드로 자동 전환이 안되었고, 또한 정지신호 구간에서도 열차를 자동으로 정지시키지 못하였다.

디코더 PCB 결함으로 인한 ATC 신호 수신 흐름도는 그림 7과 같다.

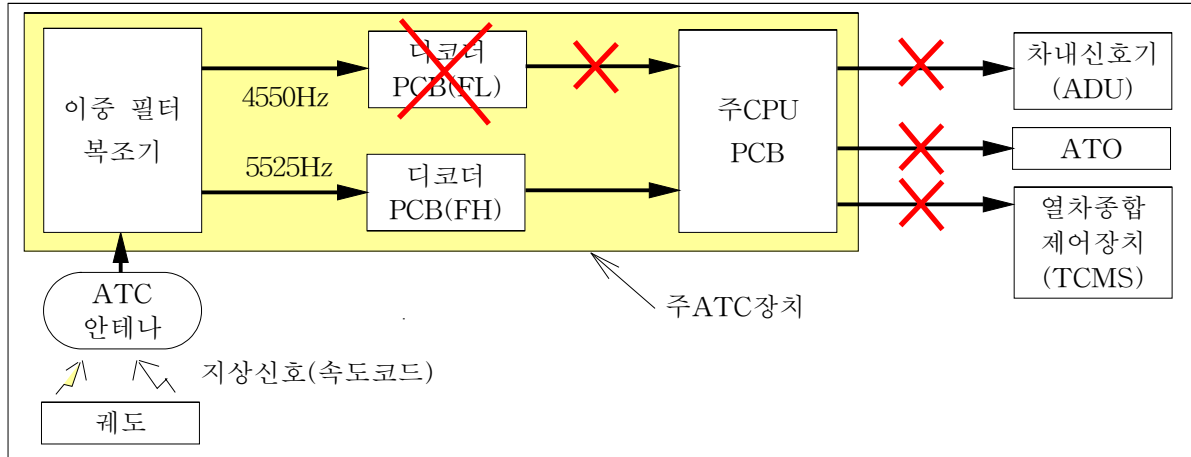


그림 7. ATC 신호 수신 흐름도

8. 열차 운행정보기록, 선로 신호기록 및 기관사 통화기록

8.1 사고열차 운행정보기록

사고열차에 기록된 운행정보기록을 분석하여 기관사의 운전취급 내용 및 규정 준수 여부를 파악하였다.

분석 결과는 다음과 같다.

- 열차는 탈선할 때까지 기지모드(YD) 상태로 운행되었다.
- 열차는 정상적으로 출고선에서 1차 정차를 하였으나, 천왕기지과 천왕역 중간 지점에서 05:44:57에 2차 정차하여 39초간 대기하였다가 재출발하였다. 이는 기관사의 문답서에 따르면 선행열차(제1907호)와의 안전거리 확보를 위한 조치였다고 진술하고 있다.

- 열차는 천왕기지과 천왕역 중간 지점에서 2차 정차한 후 탈선 정차하기까지 무정차로 운행하였다.
- 열차는 최종 탈선되기 직전에 기관사가 상용제동 취급을 하였으며, 선두차량(제7106호)의 3번 차축의 차륜에 스키드(답면찰상)가 발생하면서 탈선 정차되었다.

열차 운행정보기록을 분석하여 요약한 내용은 아래 표 5와 같다.

운행시각 (시:분:초)	열차상태	거리 (누적)	속도	구간속도	운전모드	비 고
05:38:56	출발	0	0 km/h	0~14 km/h	YD	기지 출발
05:41:22	1차 정차	397m	0 km/h		YD	출고선 정차
05:42:11	출발	0	0 km/h	0~15 km/h	YD	
05:44:57	2차 정차	499m	0 km/h		YD	
05:45:36	출발	499m	0 km/h	0~25 km/h	YD	
05:51:59	제동 취급	2479m	19 km/h		YD	
05:52:00	3번 축 스키드 발생	2484m	18 km/h	-	YD	
05:52:05	정차	2497m	0 km/h	-	YD	탈선 정차

표 5. 열차 운행정보기록 요약분석표

8.2. 사고열차 '08년도 운행정보기록 분석

760편성 열차가 2008년도에 운행하면서 속도코드를 정상적으로 수신하였는지 여부를 확인하기 위해 열차 운행정보기록을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- 운행기간 : 2008.2.12 ~ 5.8 및 2008.6.16 ~ 8.14 기간 동안 총 86회 운행
- 기지 출고선에서 기지모드가 수동모드로 자동 전환되지 않는 속도코드 수신 불량 발생 횟수 : 2008.2.14일부터 사고일까지 총 83회 발생(3회는 정상)
- 천왕기지 출고선에서 은수역까지 수신불량 발생횟수 : 10회(탈선사고 포함), 9회는 은수역에서 자동운전취급으로 정상화
- 2월 14일부터 기지 출고선에서 속도코드 수신불량이 발생된 것으로 볼 때, 2월 14일 직전에 주ATC장치 디코더 PCB의 결함이 발생한 것으로 추정된다.

8.3 신호기록 분석

은수역 신호취급실의 신호운용기록, 서울도시철도공사 관제센터의 열차 운영 상황(이벤트발생) 기록 및 현장 표시·제어 기록 등을 분석하여 사고열차의 운행 시간대별로 신호기록을 요약한 내용은 표 6과 같다.

운행시각 (시:분:초)	신호 기록	열차 상태
04:33:01	TTC모드로 변환(은수)	
04:33:40	TTC모드로 변환(천왕)	
05:38:09	SG15번 진로개통표시기 개통	
05:39:19	SG15번 진로개통표시기 정지	
05:42:07	2A번 진로개통표시기 개통	
05:42:19	2A번 진로개통표시기 정지	
05:46:53	Y01T 점유	
05:47:30	은수역 1번 진로개통표시기 정지	선행열차(1907호) 통과직후
05:47:50	천왕역 5번 진로개통표시기 정지	
05:47:58	101BT 점유	천왕역 하선 진입
05:51:17	789T 점유	
05:51:51	101호 선로전환기 정위요청	
05:51:54	101호 선로전환기 췌정	
05:51:54	101T 점유	
05:52:05	101호 선로전환기 불일치	탈선 정차

표 6. 신호기록 요약

분석 결과는 다음과 같다.

- 04:33:01 : 열차의 진로는 종합열차제어장치(TTC)에 의해 자동으로 제어되었다.
- 05:47:58 : 천왕역 5번 진로개통표시기가 정지 현시된 후 약 8초 후 열차가 101BT 궤도회로를 점유하였다. 이는 열차가 진로개통표시기 정지 현시 상태에서 정지하지 않고 계속 진행한 것으로 분석되었다.
- 05:51:51 : 열차가 은수역 진입 분기부에 있는 101호 선로전환기 침단부를 약 20m 앞두고 종합열차제어장치(TTC)의 자동진로설정에 따라 반위 상태로 있던 101호 선로전환기가 정위로 전환 요청되었다.

- 05:51:54 : 은수역 1번 진로개통표시기가 정지 현시 상태에서 진로개통표시기 내방의 101T 궤도회로가 점유되었다. 이는 열차가 정지 현시 상태에서 진입한 것을 의미한다.
- 05:52:05에 101호 선로전환기가 불일치 발생하였고, 열차는 탈선 정차하였다.

8.4 기관사 통화기록 분석

기관사가 열차를 운행하면서 천왕기지 신호취급실 및 관제센터 관제사와 통화한 주요 내용은 표 7과 같다.

열차 운행정보기록		녹취록	
시각(시:분:초)	열차 상태	시각(시:분:초)	통화 내용
05:38:56	유치선 출발	05:38:43	기관사 : D2에 760편성 출고하겠습니다. 관제사 : 네
05:42:11	출고선 출발	05:43:27	기관사 : 1909열차 760편성 ATC/ATO 차량 상태 이상없이 출고하겠습니다.

표 7. 열차 운행정보기록과 통화 시간 비교

상기 표 7에서와 같이 열차 운행정보기록의 기록 시각과 녹취록의 기록 시각이 정확히 일치하지는 않으나, 운행 상황으로 볼 때 열차가 출고선에서 출발하여 약 1분 16초 경과한 후 열차를 이동시키면서 관제사에게 열차의 ATC/ATO 상태가 이상 없다고 보고한 것으로 보여진다.

9. 신호설비 및 차량 유지보수

9.1 신호설비 유지보수

사고일 전에 실시한 신호설비 유지보수 기록을 확인한 결과, 선로전환기, 진로개통표시기, 배선 등에 대한 일반적인 점검, 청소 등의 단순 보수를 실시한 것 외에 기능 결함이나 마모 등으로 인해 부품을 교체하거나 정비를 실시한 사항은 확인되지 않았다.

사고 당일에는 차량의 진로를 자동적으로 제어하는 지상 신호시스템의 종합 열차제어장치(TTC)가 정상적으로 운영되었고, 사고 직후에 은수역 101호 선로 전환기의 작동 상태를 점검한 결과 오작동 등의 이상은 발견되지 않았다.

9.2 차량 유지보수

9.2.1 차상 ATC 장치 유지보수 현황

주ATC장치의 디코더 PCB를 포함한 전자부품에 대한 유지보수 현황은 다음과 같다.

- 검수 조직 : 천왕기지 차량관리조직내의 전자 수선반에서 업무 수행
- 검수 부품 : 전자 수선반 6명이 전자부품 수선 담당
 - 방송장치 및 행선지표시기 : 2명
 - ATC/ATO, 전동차종합제어장치(TCMS), 주간제어기 : 1명
 - 인버터, 보조전원장치, 제동전자제어장치 : 1명
 - 관리/총괄 : 담당과장 1명
 - 파견 : 1명
- 검수 절차 : 현차 고장조치 업무와 수선 업무로 구분
 - 현차 고장조치 : 검수 → 고장확인 → 조치
 - 수선 : 자재관리반에서 수선 의뢰 → 수선 → 시험기로 시험 → 자재관리반에 입고, 수선 업무는 주로 수선담당자 단독으로 업무 수행
- 검수 시 이상 유무 발견 : 운전실 TCMS 모니터에 고장 현시로 확인하고, 각종 PCB의 외관 이상여부는 육안 검사로 하며 PCB를 본체에서 분리하지 않고 조립상태에서 검사
- PCB 수선 절차 및 기준 : 주ATC장치의 디코더 PCB를 포함한 PCB 자체에 대한 상세 수선 절차 및 기준은 마련되어 있지 않고 일반적인 절차에 따라 수선하는 것으로 확인되었다.
- 주ATC장치의 디코더 PCB 교체 및 수선 이력
 - 교체 : 열차가 상업 운행된 2000년 이후 사고일 현재까지, 총 248개의 디코더 PCB 중 5개의 디코더 PCB가 결함 발생으로 교체

- 수선 : 가장 최근에 발생한 760편성 열차의 ATC고장은 '07.9.12일 발생되었고, 최근 3년 동안에는 총 6건이 발생
- 부품관리 : 전자부품(PCB)에 대한 부품번호(Serial no.) 현황이 파악되지 않았다.
- 자재관리반 수선 부품 입출고 대장을 확인한 결과, 콘덴서가 누락된 디코더 PCB(Serial no.:4896008)에 대한 수선 의뢰 기록은 없었다.

9.2.2 차량 고장이력

'08년도에 발생한 7160호 차량의 고장은 총 33건으로, 그 중 컴퓨터장치의 불량은 표 8과 같이 2건이 발생하였으나, ATC장치의 결함으로 인한 고장은 없었다.

발생일	검수종류	발생장소	고장현상	발생원인	조치내용
3.14일	일상검사	본선	TWC 통신이상	원인불명	ATO PCB 판넬 불량 확인, 교환 조치
5.3일	운행점검	기지	TWC 통신이상	재질노후	TWC SCC(직렬통신제어기) 판넬 신품 교환 조치

표 8. '08년도 발생한 차량 컴퓨터장치 불량

또한, 7160호 차량의 검수(16) 기록을 확인한 결과, 열차의 일상적인 운행에 필요한 일반적인 점검사항에 특이한 사항은 발견할 수 없었다.

(16) 차량 검수 : 운행점검, 출고점검, 5일검사(일상검사), 4월검사 및 4년검사로 구분

Ⅲ. 원인 분석

1. 운전취급 적정 여부

사고열차 운행 시간대별로 열차 운행정보기록, 신호기록 및 기관사 녹취록을 종합적으로 분석하여 그림 8과 같이 도표로 나타내었다.

분석한 내용은 다음과 같다.

- 05:38:43 : D2 검사고에 대기하고 있다가 15번 출발신호기 개통 현시에 따라 천왕기지 신호취급실에 출고 신고하고 운행<정상 운전>
- 05:38:56 : D2 검사고 기지모드로 출발<정상 운전>
- 05:39:19 : 15번 진로개통표시기 개통 현시 상태에서 진로개통표시기 위치 정상 통과하였고 기지모드로 운행<정상 운전>
- 05:41:22 : 2A번 진로개통표시기 정지로 출고선에 정차. 기지모드 상태 <정상 운전>
- 05:42:19 : 2A번 진로개통표시기 개통 현시 상태에서 출고선을 정상 출발. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:43:27 : 관제사에게 ATC/ATO 이상 없음을 보고하였으나, ATO상태 확인 하지 않음. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:44:57 : 천왕기와 천왕역의 중간 지점에 정차하여 39초 동안 대기하였다가 출발. 선행열차(제1907호)와의 안전거리 확보를 위해 정차한 것으로 확인됨. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:47:58 : 천왕역 진입 분기기에 있는 5번 진로개통표시기가 정지 현시 상태에서 진입. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:51:51 : 은수역 진입 분기기 101호 선로전환기를 20여 미터 앞두고 자동 열차운전장치(TTC)의 자동진로설정에 따라(상행열차 7018호가 102B번 선로전환기 통과 직후) 101호 선로전환기 정위 전환요청됨. 열차 속도는 17km/h로 기지모드 상태<비정상 운전>

- 05:51:54 : 1번 진로개통표시기 정지 현시 상태에서 진로개통표시기를 19km/h의 속도로 통과. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:51:55 : 101호 선로전환기 침단 부분을 18km/h의 속도로 통과. 기지모드 상태<비정상 운전>
- 05:51:59 : 기관사가 열차의 이상 징후를 감지하고 제동 취급<정상 운전>
- 05:52:00 : 선두차(7160호) 3번 차축에 스키드(찰상) 발생
- 05:52:05 : 탈선 정차

이상의 결과를 종합 분석하여, 다음과 같이 운전취급 결함 사항을 도출하였다.

1) 출고선에서 출발할 때 열차의 자동열차운전장치(ATO) 상태를 확인하지 않고, 관제센터에 ATC/ATO 및 차량상태가 이상 없다고 보고하였다.

본선을 운행하기 위해서는 열차의 자동열차운전장치(ATO) 정상 작동 여부를 확인하여야 함에도 불구하고 이행되지 않았다.

2) 자동 또는 수동모드로 운전하게 되어 있는 본선을 기지모드로 운행하였다.

기지모드가 수동모드로 자동 전환되지 않으면 모드 선택 스위치를 수동으로 전환하여야 했다. 기관사가 모드를 자동 또는 수동으로 전환하였으면 기지모드가 취소되면서 지상으로부터의 속도코드를 정상적으로 받는 상태가 되었다.

3) 진로개통표시기의 정지 현시 상태에서 진입하였다.

ATC신호시스템의 특성인 차내신호기 방식에 의해 열차를 운전하더라도 진로개통표시기가 정지를 현시할 경우에는 진로개통표시기 내방으로 진입할 수 없다라고 규정하고 있는 「도시철도 운전취급규정 제132조」(17)의 규정을 벗어났다.

(17) 「도시철도 운전취급규정 제132조」: 열차 또는 차량은 진로개통표시기가 정지를 현시하거나 소등된 경우 진로개통표시기 내방으로 진입할 수 없다.

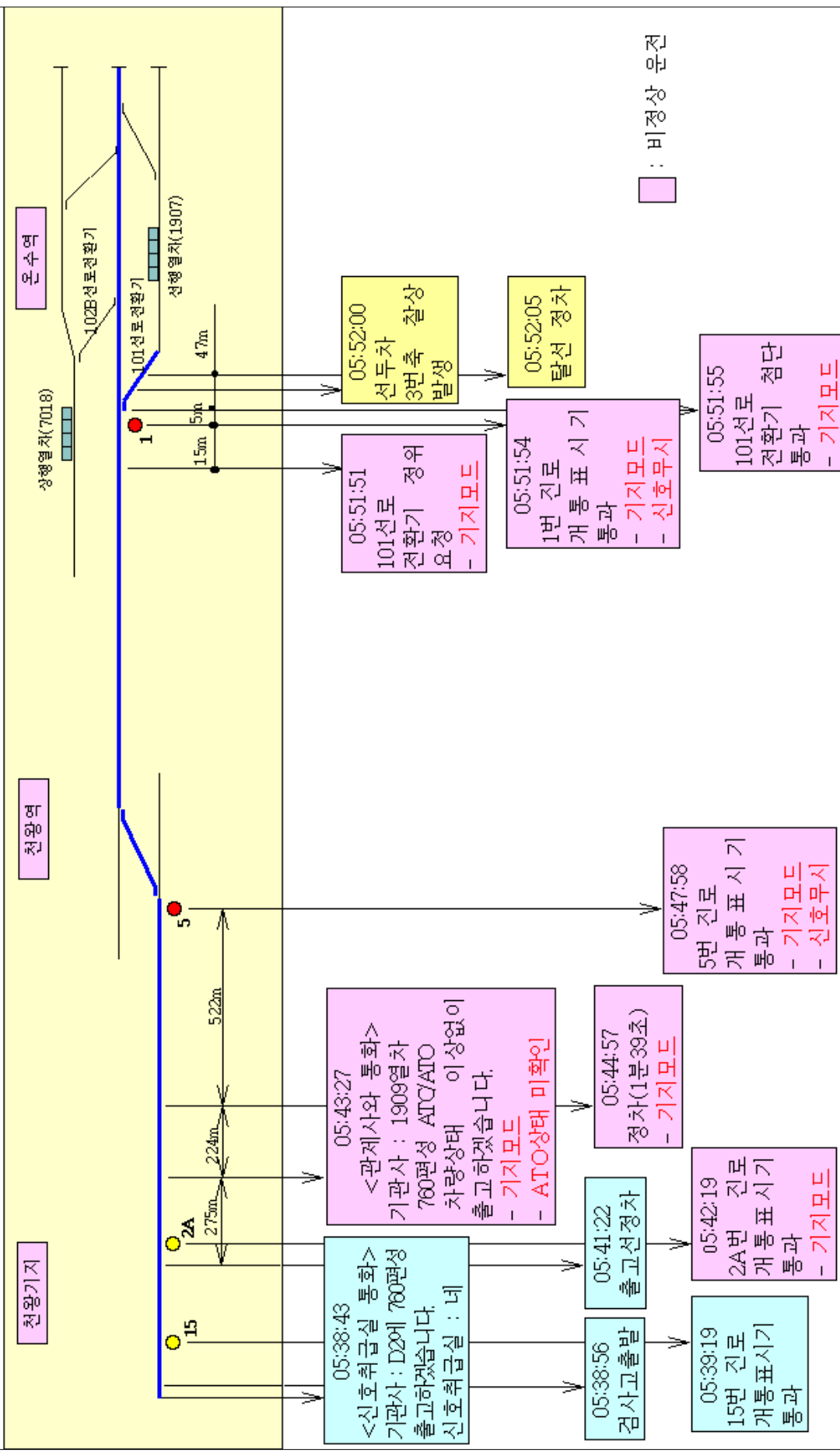
그리고 차내신호기에 정지 현시가 안되었더라도 지상의 진로개통표시기가 정지 현시가 되면 「도시철도 운전취급규정 제34조」(18)의 규정에 따라 ATC장치의 고장으로 판단하고 이를 운영사령에게 보고해야 하는 의무가 이행되지 않았다.

기관사가 천왕역 및 온수역에서 진로개통표시기가 정지 현시되었음에도 불구하고 진입한 것은 평소 차내신호기의 속도코드만 주시하여 운전하던 습관에 따라 지상의 진로개통표시기 정지 현시 확인을 결여하였다.

사고 전 수개월 동안에도 사고열차가 기지모드 상태에서 수동모드로 전환되지 않고 운행되다가 온수역에서 출발할 때 ATO점검을 하면서 정상적으로 복귀된 것이 기존의 열차 운행정보기록으로 확인이 되었으나, 그 당시에 이차차상 ATC 장치의 결함에 의한 것이라고 미처 판단하지 못하였던 것으로 보여진다.

(18) 「도시철도 운전취급규정 제34조」: 기관사는 열차운전중 ATC차상장치 고장으로 정상운행이 불가능하다고 판단될 때에는 즉시 그 사실을 운영사령에게 보고하여야 하며 보고를 받은 운영사령은 신속히 차량 교환의 조치를 하여야 한다.

그림 8. 1909열차 운행구간 분석도



2. 신호시스템 동작 적정 여부

차량의 진로를 자동적으로 제어하는 지상 신호시스템의 TTC가 정상적으로 운영되었고, 사고 직후에 점검한 은수역 101호 선로전환기의 동작 상태가 정상이었으며, 또한 사고 직전까지 다른 전동열차가 정상적으로 운행된 것으로 볼 때 지상 신호시스템의 장애는 없었던 것으로 판단된다.

차상 신호시스템의 경우, 주 ATC 장치의 결함(디코더 PCB내의 콘덴서 제거)이 정지신호 구간에서 열차를 자동으로 정지시키고 못하고 열차가 탈선에 이르게 한 요인을 제공한 것으로 분석되었다.

3. 차량 PCB 전자부품 유지보수 문제점

디코더 PCB를 포함한 PCB 전자부품의 수선 문제점으로는, 전자부품에 대한 관리 및 수선 절차, 시험 기준 등에 대한 지침이 별도로 마련되지 않은 관계로 수선 담당직원이 임의적 판단으로 업무를 수행하고 있었고, 또한 한 사람의 직원이 여러 전기장치 부품의 수선 업무를 담당하고 있어 업무량 과다 시 PCB 부품의 관리 소홀이 발생할 여지를 안고 있었다.

‘08년 2월 14일 이후 사고일까지 디코더 PCB 콘덴서가 제거된 사실을 인지하지 못한 것은, TCMS 모니터에 주 ATC 고장으로 표시되지 않아 승무원 및 검수원이 알 수 없었고, 정기 점검 시 PCB 회로 연결핀 등의 손상이 우려되어 본체에서 분리하지 않고 PCB가 조립된 상태에서만 육안 검사하였기 때문인 것으로 보여진다.

4. 탈선 상황

탈선이 발생한 은수역 진입 분기부에서의 열차 이동에 따른 101호 선로전환기 동작관계를 아래 그림 9와 같이 요약하였다.

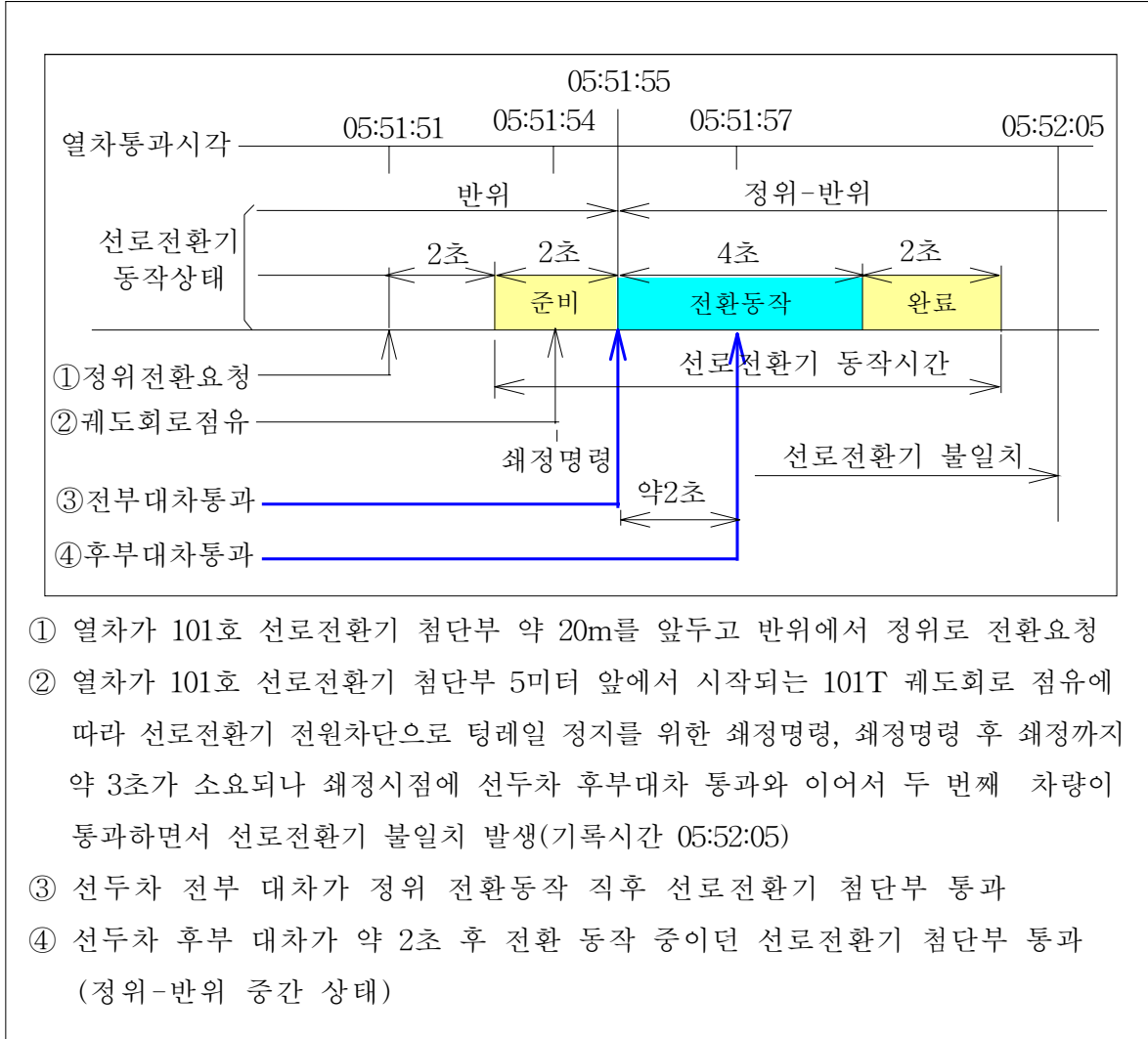
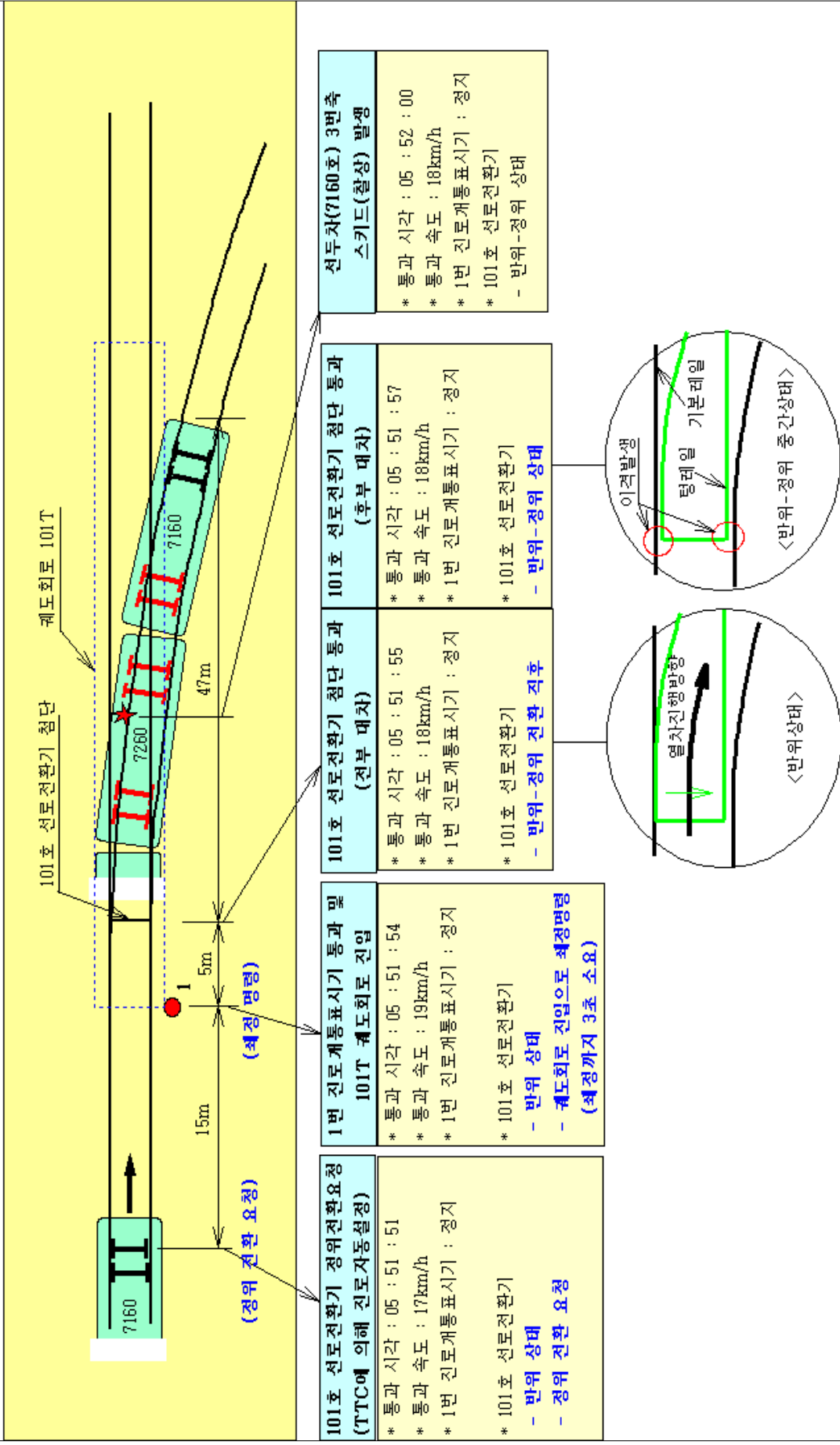


그림 9. 열차 이동에 따른 선로전환기 동작 설명도

탈선은 반위에서 정위로 동작을 막 시작한 선로전환기를 선두차 전부 대차가 통과한 직후, 선두차 후부 대차 및 두 번째 차량 전·후부 대차가 반위에서 정위로 전환 중이던 선로전환기의 기본레일과 텅레일의 이격 틈새를 통과하면서 발생한 것으로 분석되었다.

열차의 탈선 정차 상태, 열차 운행정보기록, 신호기록 등을 참조하여 탈선 상황을 그림 10과 같이 종합적으로 나타내었다.

그림 10. 1909열차 운수역 탈선 상황도



IV. 조사 결론

1. 조사 결과 요약

- 1.1 2008년 8월 14일(목) 05시 38분경에 천왕차량기지를 출발한 8량 편성의 제1909전동열차가 상행선 출발역인 은수역구내에 진입하던 중, 05시 52분경에 선두차인 7160호 후부 대차와 두 번째 차량인 7260호의 전·후부 대차가 101호 선로전환기 침단부를 지나 측선 진행방향 선로 좌측으로 탈선 정차하였다.
- 1.2 탈선 현장을 조사한 결과, 선로의 베이스플레이트, 침목 등과 선두차 후부 대차 5위 및 7위의 제동 디스크가 탈선 충격에 의해 파손되었다.
- 1.3 피해 사항으로는 물적 피해 약 170만원이 발생하였으며, 사고 현장 복구에 총 6시간 20분이 소요되었다.
- 1.4 기관사에 대한 인사기록, 근무기록, 교육기록 등을 검토한 결과, 특이한 사항은 없었다.
- 1.5 열차 운행정보기록 및 신호기록을 검토한 결과, 사고열차는 탈선할 때까지 기지모드(YD) 상태로 운행하였고, 천왕역 및 은수역에서 지상의 진로개통표시기 정지 현시 상태에서 진입하였다.
- 1.6 사고 전 수개월 동안에 사고열차가 본선 진입시에 운전모드가 기지모드에서 수동모드로 전환되지 않았음에도 불구하고 이러한 사항이 보고/기록/인수인계가 되지 않았다.
- 1.7 은수역 101호 선로전환기를 포함한 신호설비에 이상은 없었다.
- 1.8 차상 ATC 장치의 주 ATC 장치 디코더 PCB 콘덴서가 제거되어 지상 신호 시스템으로부터의 정지코드를 정상적으로 수신하지 못하였다.
- 1.9 차상 신호시스템의 유지보수 현황을 조사한 결과, PCB에 대한 부품번호 (Serial no.) 현황이 파악되지 않았고, 또한 수선 절차서 및 기준서가 구비되지 않았다.

1.10 열차 운행정보기록, 신호기록, 기관사 통화기록 등을 종합 분석한 결과, 열차가 온수역 진입 분기부에 설치된 진로개통표시기의 정지 현시 상태에서 진입한 것이 탈선의 직접적인 원인으로 작용하였으나, 차상 ATC 장치 디코더 PCB내의 콘덴서가 제거됨으로 인한 차상 ATC 장치의 신호 수신 불능이 열차를 탈선에 이르게 한 요인이 되었다.

2. 탈선 원인

2.1 기관사가 온수역 진입 분기부에 설치된 진로개통표시기의 정지 현시 상태를 확인하지 않고 진입하였다.

2.2 차상 ATC 장치 디코더 PCB내의 콘덴서가 제거되어 차상 ATC 장치가 지상 신호를 수신할 수 없었다.

V. 안전 권고

서울특별시도시철도공사에 대하여 다음과 같이 권고한다.

1. 열차 운행 시 지상신호 및 차내신호의 확인·준수와 이례사항에 대한 보고·기록유지를 철저히 할 수 있도록 교육을 강화하고, 그 이행여부를 확인할 수 있는 제도적 보완방안(주기적 열차운행기록 확인 포함)을 수립·시행할 것.
2. 열차의 출발 전에 시행하는 출발 전 시험(PDT) 또는 속도코드 수신시험을 보완하여 기지모드(YD)가 저속(0~60km/h) 및 고속(65~90km/h) 수동모드(M)로 정상 전환되는지 여부를 확인토록 할 것.
3. 모든 PCB 취급과정(현차시험 포함)에서 부품의 바뀔, 분실 등이 발생하지 않도록 PCB 전자부품 입출고관리 세부지침과 PCB 전자부품의 누락 및 훼손 여부를 확인하고 시험할 수 있는 PCB 전자부품 상세 수선절차를 수립·시행할 것.

VI. 부록

붙임 자료

1. 탈선 복구 인원 및 피해 현황
2. 기관사, 관제사 및 검수관계자 문답서
3. 검수 담당직원 디코더 PCB 취급경위서
4. 기관사 인사기록카드
5. 기관사 승무적합성 검사기록 및 입출고 기록
6. 기관사 면담기록
7. 디코더 PCB 결함 확인위한 현차 주행시험 기록
8. 사고열차 운행기록
9. 사고열차 '08년도 운행기록 분석자료
10. 신호기록 분석자료
11. 선로전환기 이력대장
12. 760편성 ATC 고장현황(최근 3년)