

철도사고 조사 중간보고서

서울교통공사 2호선

잠실새내역 내선

제2036열차 (210편성)

열차화재

2017년 1월 22일(일) 06:28경



2018. 2. 9.



항공·철도사고조사위원회

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

같은 법률 제1조에서 「철도사고 조사는 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고 원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고의 예방과 안전 확보에 이바지함」을 목적으로 하고 있다.

또한, 제30조에 따라 사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법 절차, 행정처분절차 또는 행정쟁송절차와 분리·수행되어야 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

서울교통공사 2호선 잠실새내역 내선 전동차 화재사고	1
개요	2
1. 사실정보	4
1.1 사고경위	4
1.2 피해상황	4
1.3 인적정보 및 업무수행사항	5
1.4 물적정보	12
1.5 현장정보	15
1.6 운행정보	16
1.7 도시철도차량의 내구연한과 정밀 안전진단	17
1.8 인근 열차 운행상황	18
1.9 역사 내 화재 감지설비	19
1.10 잠실새내역 CCTV 영상기록	20
1.11 전기 설비	21
1.12 기상정보	21
2. 분석	22
2.1 업무수행사항 분석	22
2.2 주요 전장품 분석	25
2.3 차량의 내구연한과 정밀 안전진단 적정성 분석	39
2.4 열차통제 적정성 분석	40
2.5 사고열차 승객 대피 적정성 분석	42
2.6 종합분석	43
3. 결론	45
3.1 조사결과	45
3.2 사고원인	47
4. 안전권고	48
4.1 서울교통공사에 대하여	48

서울교통공사 2호선 잠실새내역 내선 전동차 화재사고

- 운영기관 : 서울교통공사 (사고 당시 서울메트로)
- 운행노선 : 2호선
- 발생장소 : 잠실새내역 내선
- 사고열차 : 제2036열차 (210편성)
- 사고유형 : 열차화재
- 사고일시 : 2017년 1월 22일(일), 06시 28분경



[그림 1] 사고현장 개요

개요

2017년 1월 22일(일) 06:28경 서울교통공사의 제2036열차가 2호선 잠실새내역 내선 승강장을 진입하던 중 차량고장이 발생하여 전차선이 단전되며 비상제동이 체결되면서 정차하였다. 06:29경 제2036열차 차장은 차량고장에 따른 차내 안내방송을 하던 중, 06:30경 열차 진행방향 앞에서 두 번째 차량의 하부에서 아크와 함께 연기가 발생하면서 [그림 2]와 같이 차량 외벽으로 불꽃과 연기가 전파되었다. 이때 종합관제소에서 119에 화재신고를 하였고, 승객들이 출입문을 수동으로 열어 하차하기 시작하였다. 06:31경 제2036열차 차장은 열차에 화재가 발생하였으니 즉시 출입문을 열고 하차하라는 방송을 하였고, 맨 마지막 차량부터 앞쪽으로 이동하면서 승객들을 모두 대피시켰다. 06:36경 소방관이 출동하여 화재를 진압하였고 화재는 인접한 차량으로 전파되지 않았다.



[그림 2] 차량 피해

이 사고로 인명피해는 발생하지 않았으나, 전동차 1량의 하부기기가 손상되었고 약 78분간 열차 운행에 지장이 있었다.

1. 사실정보

1.1 사고경위

2017년 1월 22일(일) 06:15경 서울교통공사의 제2036열차(이하 “사고열차”라 한다)가 2호선 내선 방향에서 강변역을 진입하던 중 고장표시등(OV)¹⁾이 점등되면서 전차선이 단전 되었다. 06:17경 전차선이 급전된 후 사고열차는 제동을 해방하고 유니트차단스위치(UCOS)²⁾를 취급하여 고장 유니트를 개방한 후 출발하였으나, 고장표시등이 다시 점등되면서 다시 단전되었다.

사고열차는 50~60km/h이하로 잠실나루역, 잠실역까지 운행 후 잠실새내역을 진입하던 중 06:28경 충격과 굉음이 발생하며 비상제동이 체결되어 제동을 해방하고 추진하였으나 추진이 되지 않았으며, 6시 29분경 차량고장에 따른 차내안내방송을 하던 중, 06:30경 열차 진행방향 앞에서 두 번째 차량의 하부에서 아크와 함께 연기가 발생하였고 차량 외벽으로 불꽃과 연기가 전파되었다.

이때 종합관제소에서 119에 화재신고를 하였고, 승객들이 출입문을 수동으로 열어 하차하기 시작하였으며, 06:31경 열차에 화재가 발생하였으니 즉시 출입문을 열고 하차하라는 안내방송을 한 후, 맨 마지막 차량부터 앞쪽으로 이동하면서 승객들을 모두 대피시켰으며, 06:36경 소방관이 출동하여 화재를 진압하였고 화재는 인접한 차량으로 전파되지 않았다.

1.2 피해상황

1.2.1 인명피해

이 사고열차로 인명피해는 발생하지 않았다.

1) 고장표시등(OV: Over Voltage): 전동차 전기회로에 과전압이 발생했을 때 운전실에 표시하여 기관사에게 알려주는 경보 표시등

2) 유니트차단스위치(UCOS: Unit Cut Off Switch): 전동차 주회로 주요 고장 발생 시 해당 유니트의 역행, 제동회로를 개방함으로써 주회로 단류기 투입을 차단하여 2차 고장을 방지하는 스위치

1.2.2 물적피해

이 사고로 전동차 1량의 하부기기와 외관이 손상되었으나 사고차량은 잔존 가치가 없는 상태여서 직접 피해액은 없었다. 또한 이 사고로 내선 6개 열차, 외선 7개 열차가 지연 또는 무정차 통과하였고 후속 열차가 약 78분 지연 운행하였다.

1.3 인적정보 및 업무수행사항

1.3.1 사고열차 기관사

사고열차의 기관사 박○○(51세, 남)는 1994년 10월 5일 (구)서울지하철공사 성수승무사업소에 입사했으며, 차장근무 13년 이후, 철도안전법에 의한 철도차량 운전면허를 취득하여(전기2종, 2007. 7. 1.) 신정승무사업소에서 전동차 운전업무에 종사하고 있었다.

사고열차 기관사의 사고발생 전 72시간 행적에 특별한 사항은 없었고 수면은 충분하였다고 진술하였다.

사고열차 기관사의 진술에 따르면, 사고발생 전일인 21일 21:30경 신정승무사업소에 출근, 출무점호를 받고 신도림역으로 출장하여 제2454호 열차의 운행(내선)을 마치고 신도림 3번에 도착, 주박차량 조치를 취한 후, 승무원 침실에서 01:00에서 04:30까지 휴식을 취했다.

22일 04:30경 사고열차 차장과 함께 신도림역 3번 선로의 주박차량에 출장, 문래역 방면 출입문으로 진입, 매뉴얼대로 전동차를 기동하였으며, 대림역 방면 운전실로 이동하여 출발준비를 마치고 관제실의 지시에 따라 Y선을 경유 1번 선로에 도착, 제2006열차로 05:30에 출발하였다.

성수역에 06:09 정시에 도착하여 승무원 교대 없이 열차번호를 제2036호로

성수역을 출발, 건대입구역, 구의역을 정시로 운행한 후 강변역을 3분의 2진입하면서 정차하기 위하여 상용제동을 취급하던 중 2110호, 2410호, 2810호 차량의 고장표시등이 점등되었고 왼쪽제어대의 고장표시등의 OV등이 점등되면서 전차선이 단전되었다.

공기제동으로 강변역에 정차취급을 하고 있을 때 관제실에서 ‘고장 표시등 점등된 열차 통보해 주십시오.’라고 확인 무전이 왔으며, 강변역에 정차하여 ‘2036열차 1, 4, 8,호차 OV 점등됐습니다.’라고 응답하자 관제실에서 ‘잠시 대기하세요’라고 하였다.

사고열차 차장에게 사이드 통화장치로 ‘지금 단전됐으니 안내방송 실시해라’고 통보하였으며, 관제실에서 급전됐으니까 출발하라는 통보가 있었으나 1, 4, 8,호차 OV등이 점등되어 출발하지 못했고 역전기를 중립에서 전진(F) 위치로 움직이자 재차 전차선 단전이 발생되어 관제실에 보고하였다.

관제실에서 재차 전차선 급전을 알리면서 어떤 고장표시등이 점등되었냐고 확인하여와 1, 4, 8,호차 OV가 점등과 OC등도 점등되었다고 통보했으며, ‘제동을 해방 해보라’하여 제동을 해방하자 OV등이 소등되고 OC등이 점등되어 출발하지 않고 관제실에 OV등만 소등됐다고 통보하였다.

관제실에서 몇 호차에 OC가 점등되었는지 확인하여 4호차에 OC가 점등되어있다고 통보하였으며, 관제실에서 호차가 확인되었으면 UCOS 취급하라고 지시하여 UCOS를 취급하고 계기등을 확인하니 OC등은 소등되지 않았고 UCOS등과 4호차 표시등 점등을 확인하고 관제실의 지시로 발차하였다.

관제실에서 팬토그래프 하강 얘기는 없었으며 발차하여 전류 수치는 기억나지 않지만 출력이 평상시보다 낮아(3분의 2 출력) 관제사에게 출력상태를 통보하고 출력이 낮은 상태로 잠실나루까지 약 50~60km/h속도로 운전하여 잠실나루역 진입 시 제동취급을 하자 약간의 충격이 느껴졌다.

잠실역에서 리셋스위치를 취급하지 않은 기억이 나서 취급하자 OC등이 소등되었으며, 관제실에서 기동검수가 종합운동장에서 접근할 것이라고 통보하여 잠실역을 출발, 속도를 50~60km/h이하로 운전하여 잠실새내역을 정상적으로 5분의 4지점 쯤 진입할 때 충격과 굉음이 발생하고 계기판의 OC등, 비상제동등이 점등되고, ATS경보음이 울리면서 비상정차 되었다.

1.3.2 사고열차 차장

사고열차의 차장 박○○(29세, 남)는 2011년 12월 15일 철도안전법에 의한 철도차량 운전면허를 취득(전기2종)한 후 2012년 8월 9일부터 2014년 9월 10일까지 용인경전철에서 근무한 후 2016년 7월 1일 서울교통공사(구 서울메트로, 신정승무사업소)에 입사하여 사고 당시까지 전동차 차장업무에 종사하고 있었다.

사고열차 차장의 진술에 따르면, 사고발생 전 72시간의 활동은 11월 18일이 휴무일이어서 휴식을 취하였으며, 19일부터 21일까지는 정상적으로 근무를 하였고 특별한 사항은 없었다.

사고 당일 신도림역부터 강변역까지 운행 중 이상은 없었으며, 처음 이상을 감지한 곳은 강변역으로 출입문 취급 후 승객 승하차 완료 후 출입문을 닫으려 할 때 객실 등 일부가 소등이 되어 전차선 단전으로 추정하고 있을 때 기관사가 단전을 통보해와 객실 안내방송을 실시하였다.

이후, 잠실새내역을 진입 중 객실 등이 소등되면서 비상제동이 체결되어 차량고장 조치 안내방송을 하였으며, 기관사로 하여금 ‘승객이 비상코크를 임의로 작동시키고 외부로 나가면 위험할 수도 있다는 안내방송을 하라.’는 지시를 받고 열차가 고장이 발생하여 조치중이라는 안내방송을 3회 정도 하였다.

당시까지 차량에 화재가 발생했는지, 연기가 발생하고 있었는지 알 수 없

었으며, 관제실로부터 열차에 화재가 발생했다는 내용을 열차무선전화로 들었고, 인터폰으로 사고열차 기관차로부터 ‘화재가 발생하여 승객을 대피시키라.’는 통보를 받았다.

화재가 발생해 대피하라는 안내방송을 하고 객실로 이동하여 객실의 승객과 함께 다음 칸(9호→8호차)으로 이동하였으며, 승강장이 보여 출입문 코크를 열고 승객을 모두 대피시킨 후 7호차로 이동하여 7호차의 코크를 열고 승객을 대피시켰고, 9호차와 8호차의 객실소화기를 가지고 1호차까지 이동하였다.

객실을 통하여 이동하면서 객실에 남아있는 승객은 확인되지 않았으며, 1호차에 소방관들이 있는 것을 보았고 비상코크가 열려있으면 출발할 수 없기 때문에 열려있는 코크가 있는지 확인 중, 화재 진압을 완료한 소방관들이 철수한 후 뒤쪽으로 이동하여 삼성역 대피선까지 자력으로 운행하였다.

1.3.3 종합관제소 운전관제사

서울교통공사 종합관제소 관제사 김○○(45세, 이하 “운전관제사”라 한다)는 1994년 10월 5일 옥수승무사업소 차장으로 채용되었으며, 13년의 차장업무 이후, 2006년 7월 1일 철도안전법에 의한 철도차량 운전면허(전기2종)를 취득하여 2014년 12월까지 기관사업무를 수행하였으며, 기관사경력을 기반으로 운전관제사업무를 수행하게 되었고 업무수행관련 관제교육은 2015년 7월 경 3주간 교육을 받았으며, 적성검사와 신체검사는 교육이전에 수검하였다.

운전관제사의 진술에 따르면, 사고발생 전 72시간 전부터 야간 근무조라서 특별한 활동 없이 휴식하였으며, 21일 18시에 출근해서 다음 날 01시까지 근무하고 01시부터 04:30까지 휴식 후 04:30부터 근무하던 중 06:15경 전력관제의 소내 일제방송을 통하여 장애 발생 사실을 처음 접하였다.

단전상태를 확인하기 위하여 급전 모니터를 확인하고 구간의 열차의 고장 표시등 점등상태를 확인하던 중 제2036열차로부터 OV 고장표시등이 점등되

었다고 통보가 와서 인접의 검수관제에 고장조치를 의뢰했으며, 고장열차의 확인과 검수관제의 요청이 있어 전력관제에 급전을 요청하였다.

내외선 운행 중인 모든 열차에 대하여 열차무선전화로 열차고장과 단전상황을 공유시켰으며, 검수관제는 사고열차에 UCOS를 취급하라고 지시한 것으로 기억되고, 검수관제가 본인에게 급전요청을 하여 전력관제에 급전을 요구하였으며, 열차는 검수관제가 발차시켰다.

이후 열차무선전화는 검수관제가 계속 통화하였으며, 본인은 운전상상황정리를 하였고, 검수관제로부터 재차 급전요청이 있어 전력관제에 급전요청을 하였으며, 내선운행열차에게 인접역까지 운행하여 관제지시를 받으라고 통보하였다.

사고열차가 정차되었을 때 후속 열차의 간격조정을 하였으며, 검수관제와 협의하여 차량교환을 결정하였고, 차량은 검수관제에서 신정차량기지로 예비차 준비를 지시하였으며, 본인은 신정승무사업소 운용부장에게 예비차량 출고를 위한 승무원을 준비하도록 지시하였다.

당시 검수관제와 사고열차 기관사는 사고열차를 잠실새내역까지 진입시키기 위한 조치를 하고 있는 것으로 기억되며, 단전방송이 있어서 사고열차를 호출하였더니 비상제동이 체결되었다고 통보해왔다.

잠실새내역에 사고열차가 비상정차 했을 때까지는 화재가 아닌 장애로 판단하여 대피명령은 내리지 않았으며, 사고열차 기관사로부터 화염, 연기 등의 단어를 듣고서 곧바로 열차화재로 인식하여 승객대피를 지시하였다.

1.3.4 종합관제소 검수관제사A

종합관제소 검수관제사 권○○(48세, 이하 “검수관제사A”라 한다)는 1994년 10월 5일 군자차량사업소 검수팀에 채용되었으며, 2009년 1월 19일 종합

관제소로 발령받아 차량응급조치 자문 역할을 하는 기술지원 업무를 수행하고 있었다.

검수관제사A의 진술에 따르면, 사고발생 전 72시간 활동은 사고당시 이전 근무가 주간 근무라서 주간근무가 끝나고 휴식 후 야간근무에 출근하였으며, 21일 18시에 출근해서 야간근무 후 0시부터 03:20까지 휴게시간 이후 03:20부터 근무를 시작하였고 검수관제 탁자에서 06:28에 전력관제의 전차선단전 소내 방송을 통하여 사고내용을 접하였다.

소내 방송을 듣고 열차번호 차량편성 차량번호를 확인했으며, 그 이전에 OV, OC가 점등된 후 OV가 소등되고 OC가 점등되어 4호차 유니트컷(UCOS) 조치를 하였다고 같은 조원 중 한 명으로부터 들었고 기관사로부터 열차무선 전화로 1호차 OC 점등을 통보 받았으며, 차량이 정위치에 갈 수 없어서 기관사에게 리셋 금지를 지시했고 전차선급전을 운전관제에 요청하였다.

운전관제에서 전력관제로 전차선급전을 요청한 후 바로 전력관제에서 재차 단전되었다고 소내방송을 실시하여 사고열차 기관사에게 전체 차량의 팬토타그램 하강을 지시하였고 1호 및 4호차 부동취급³⁾을 지시하였다.

팬토타그램 하강 지시 후 사고열차 기관사로부터 2110호 2410호 팬토타그램 하강 부동취급완료 통보 받았으며, 그 후로 출발 소식은 없고 소화 관련 통화만 들었다.

1.3.5 종합관제소 검수관제사B

종합관제소 검수관제 최○○(51세, 이하 "검수관제사B"라 한다)은 1994년 11월 15일 군자차량사업소 검수팀에 입사한 후 2000년도 지축차량사업소 정비팀 근무, 2012년 4월 1일 종합관제소 검수관제로 발령 받아 기술지원업무

3) 부동취급: 팬토타그램 파손 및 접지고장 등 본선에서는 조치가 불가능한 경우 팬토타그램을 하강하고 해당 차량(Unit)의 동력운전회로 및 주전력변환장치, 압축기 등의 기능을 완전히 정지시킨 다음 운행하는 것을 말한다.

를 수행하고 있었으며, 당시 야간근무 중이었다.

검수관제사B의 진술에 따르면, 사고발생 전 72시간 활동사항은 휴일 이후 이전 근무가 주간 근무이어서 주간 끝나고 휴식 후 야간근무에 출근하였으며, 21일 18:00에 출근해서 00:30까지 야간근무 후 휴식하고 04시경부터 근무를 시작하였고 기술지원을 하였다.

운전관제와 검수관제는 업무 협조 관계이고 운전관제는 열차운행관련 업무이고 검수관제는 전동차 고장 시 응급조치업무를 수행하고 있으며, 검수관제는 전동차 기술지원, 차량기지 입출고차 관련업무, 예비차 관련 업무 및 차량사업소 관련 업무를 수행한다.

근무 중 강변역 내선 전차선 단전을 확인 후 제2036열차 1, 4, 8호차 OV 점등을 확인하고 사고로 인지하였으며, 소내방송을 듣고 운전관제로 이동하여 운전관제의 무전기로 사고열차 기관사에게 열차번호와 차량편성을 확인했으며, OV점등을 확인하고 전차선 급전을 대기하라고 통보하였다.

강변역에서의 운행에 관한 지시나 조치는 관제팀장이 하였으며, 단전이 되면 먼저 고장차호를 확인하고 고장차를 개방하며, 차량이상 유무를 확인하고 리셋한 후 차량을 교환 조치하거나 급전 불능 시는 고장 차호를 개방취급한다.

단전발생 시 고장차호 개방(유니트 개방)을 지시하고 부동취급은 거의 하지 않으며, OV는 역전기 중립 제동핸들 완해 위치에서 3초가 지나면 소등되고 소등 되지 않으면 리셋 취급을 한다.

OC 점등 시는 고장차호를 먼저 확인하고, 단전이 되지 않았을 때에는 리셋을 하여 소등되면 운행을 재개하고, 단전이 되었을 때에는 리셋을 금지하고 UCOS를 취급하여 고장 유니트를 개방하고 리셋취급 후 차량 교체역까지 운행한다.

1.4. 물적정보

1.4.1 사고열차 조성내역

사고열차는 아래 [표 1]과 같이 조성되어 있었으며 본 조사보고서에서는 사고 당시 열차 진행방향을 고려하여 [표 1]과 같이 순번을 정하였다.

차종	MC1	M2'	T1	T2	M1'	M3	T1	T2	M1'	MC2
번호	2910	2810	2710	2610	2510	2410	2310	2210	2110	2010
호수	9호	8호	7호	6호	5호	4호	3호	2호	1호	0호
순번	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
사고 당시 열차 진행방향 →										

[표 1] 사고열차 조성내역

- MC : 운전실이 있고 견인 동력이 있는 제어차
- M' : 견인 동력이 있는 구동차 (팬터그래프 등 지붕장치 설치됨)
- T1, T2 : 운전실과 견인 동력이 없는 부수차

1.4.2 사고열차 주요 제원

사고열차는 1990년에 도입된 초퍼전동차로서 최고 영업속도 100km/h, 출력 3,600kW의 전기동차이고, 차체 중량은 MC차 41.5톤, M차 41.5톤, T차 32톤, M3차 41.5톤, 차체 길이 19.5m, 차체 폭 3.12m, 높이 3.75m, 차륜직경 860mm, 열차의 전체 길이(10량 편성)는 약 200m이다.

1.4.3 사고열차 검수 현황

사고열차의 정기검수⁴⁾ 내역은 [표 2]와 같다. 사고열차는 2015년 9월 전반검사를 마쳤으며 2016년 12월에 월상검사를 마치고 출고하였다.

4) 정기검수(定期檢修) : 철도차량을 사용기간 및 주행거리에 따라 각 장치의 전반 또는 부분에 대하여 정기적으로 시행하는 검사 및 수선

신조도입	일상검사 (3일)	월상검사 (3개월)	중간검사 (2년)	전반검사 (4년)
1990.11.23.	'17.1.8.	'16.4.1.	'97.8.5.	'99.8.25.
	'17.1.11.	'16.6.9.	'01.7.18.	'03.7.21.
	'17.1.14.	'16.8.8.	'05.9.6.	'07.9.19.
	'17.1.17.	'16.10.6.	'09.7.2.	'11.11.24.
	'17.1.20.	'16.12.6.	'13.10.29.	'15.9.25.

[표 2] 사고열차 종별 검수이력

1.4.4 주요 전장품 유지보수 이력

1.4.4.1. 주 퓨즈(Main Fuse)

사고열차의 주퓨즈(FB-S378B-123B) 중간검사 이력은 [표 3]과 같다.

일시	내용	결과(차호 구분없음)
2013.09.27. ~	퓨즈의 저항치 측정(규정된 저항치보다 10%이상 차이나면 교환)	○
	절연저항 측정	○
2013.10.29.	퓨즈 용단 확인	○
2015.08.24. ~	퓨즈의 저항치 측정(규정된 저항치보다 10%이상 차이나면 교환)	○
	절연저항 측정	○
2015.09.25.	퓨즈 용단 확인	○

[표 3] 주퓨즈 유지보수 이력

1.4.4.2. 회로차단기1(LB1)

사고열차의 회로차단기(UP-J973H, 900AM LB1, LB2) 유지보수 이력은 [표 4]와 같다.

일시	내용	결과		
		2110	2410	2810
2013.09.27.	절연 저항(고압-대지 : 100MΩ이상)	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ
	동작전압(60V이하)	50V	50V	50V
2013.10.29.	코일저항(600Ω±5%)	587Ω	627Ω	591Ω
	내전압 시험(필요시 전반(4Y)검사 수행)	기록 없음		
2015.08.24.	절연 저항(고압-대지 : 100MΩ이상)	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ
	동작전압(60V이하)	55V	55V	55V
2015.09.25.	코일저항(600Ω±5%)	610Ω	615Ω	620Ω
	내전압 시험(필요시 전반(4Y)검사 수행)	기록 없음		

[표 4] 회로차단기 유지보수 이력

1.4.4.3. 고속도 회로차단기(HB1⁵⁾, HB2)

사고열차의 고속도 회로차단기(HB1, HB2)의 유지보수 이력은 [표 5]와 같다.

일시	내용	결과			
		2110	2410	2810	
2013.09.27.	HB1	동작전압(60V이하)	50V	51V	51V
		차단전류(1800A)	1800A	1800A	1800A
		코일저항(600Ω±5%)	613Ω	606Ω	608Ω
2013.10.29.	HB2	동작전압(60V이하)	50V	51V	50V
		차단전류(1800A)	1700A	1700A	1700A
		코일저항(600Ω±5%)	610Ω	607Ω	611Ω
2015.08.24.	HB1	동작전압(60V이하)	55V	55V	55V
		차단전류(1800A)	1800A	1800A	1800A
		코일저항(600Ω±5%)	627Ω	620Ω	615Ω
2015.09.25.	HB2	동작전압(60V이하)	55V	55V	55V
		차단전류(1800A)	1700A	1700A	1700A
		코일저항(600Ω±5%)	599Ω	600Ω	605Ω

[표 5] 고속도 회로차단기 유지보수 이력

5) HB1(High-speed Breaker 1): 고속도차단기의 약어이며, 1번 고속도차단기를 말함

1.4.4.4. 필터리액터

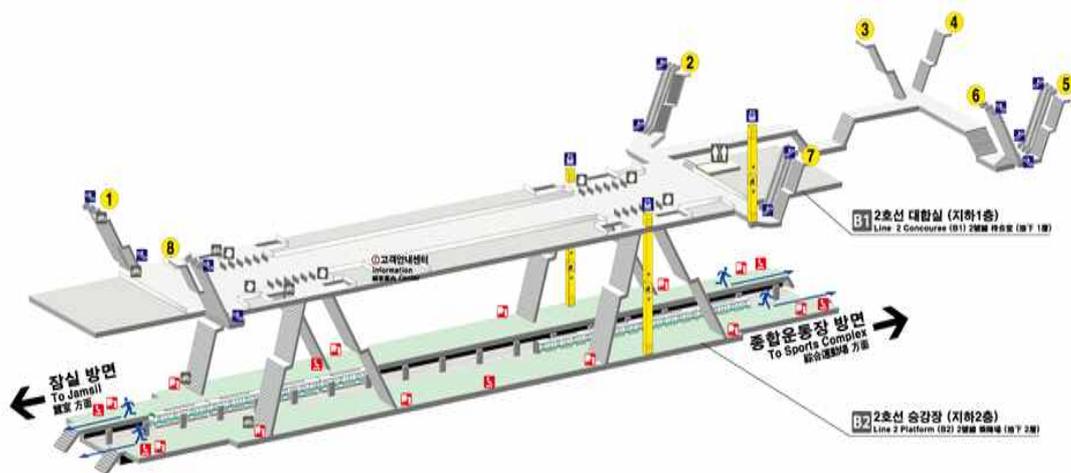
사고열차의 필터리액터 유지보수 이력은 [표 6]과 같다.

일시	내용	결과		
		2110	2410	2810
2013.09.27.	절연저항(1MΩ이상)	∞	∞	∞
2013.10.29.	필요시 절연내력 시험	미 실시		
2015.08.24.	절연저항(1MΩ이상)	∞	∞	∞
2015.09.25.	필요시 절연내력 시험	미 실시		

[표 6] 필터리액터 유지보수 이력

1.5 현장정보

[그림 3]과 같이 사고가 발생한 잠실새내역은 상대식 지하 승강장으로서 사고열차는 진행방향 앞쪽의 9량은 승강장에 진입한 상태였고, 맨 뒤의 1량은 터널 속에 있는 상태였다.



[그림 3] 잠실새내역

1.6 운행정보

사고발생 당시의 주요 운행정보를 정리하면 다음 [표 7]과 같다.

시 간	내 용
06:28	제2036열차 단전 동반 차량고장(비상제동 걸림 정차) 발생 - 기관사 관제보고
06:29	차내 안내방송(차장), 역사 일제방송, 열차 운행간격 조정(관제) - 방송내용 : 차량고장으로 비상정차하여 조치 중에 있으니 쿵크 및 출입문을 열지 마시고 안전한 차내에서 잠시 기다려 주시기 바랍니다(3회)
06:30	아크동반 연기발생(2번째 차량), 119신고(종합관제소) 승강장 2-3지점 객실 승객 출입문 임의 개방 하차(06:30:09)
06:31	역직원(부역장) 119신고 승객(약 70명) 대피 안내방송 시행(승무원 - 차장) - 방송내용 : 열차에 화재가 발생되었으니 즉시 출입문을 열고 대피하여 주시기 바랍니다 차장이 후부 7, 8호차 쿵크 개방 후(각 량당 1개) 승객대피 외선열차 운행 중지(종합관제소)
06:32	역직원 승강장 현장 출동-승객 대피시킴 소화전 사용 준비(밸브 개방)
06:36	소방관 출동 열차 대차하부 화재 진압
06:42	기관사가 응급조치 완료 보고로 외선 열차 무정차 서행 운행지시 소방관이 시설물 점검을 위해 재단전 요청으로 열차운행중지
06:50	열차 옥상기기 연기 발생(옥상 주휴즈) : 2번째 차량
06:59	현장지휘소 가동 지시
07:09	외선열차 운행 재개 (잠실새내역 무정차 통과)
07:20	내선열차 운행 재개
07:26	고장열차 삼성 Y선 유치
07:46	잠실새내역 정상운행 재개

[표 7] 사고열차의 운행기록 정리

1.7 도시철도차량의 내구연한과 정밀 안전진단

『도시철도법』(법률 제5112호, 1995. 12. 29. 개정, 이하“도시철도법”이라 한다) 제22조의5(도시철도차량의 사용 내구연한), 『도시철도차량 관리에 관한 규칙』(건설교통부 제82호, 1996. 11. 7. 제정, 이하“도시철도차량 관리에 관한 규칙”이라 한다) 제9조(도시철도차량의 사용 내구연한 등)에 도시철도차량의 사용 내구연한을 25년으로 하고, 정밀진단을 실시하여 5년 연장하도록 정하였다. 이후 도시철도차량 관리에 관한 규칙을 개정(2009. 3. 19.)한 뒤 정밀진단을 실시하여 15년 범위 내 내구연한을 연장하도록 하였다.

또한 『철도안전법』(법률 제7245호, 2004. 10. 22. 제정, 이하“철도안전법”이라 한다) 제37조(철도차량의 내구연한), 『철도안전법 시행규칙』(건설교통부 제456호, 2005. 7. 13. 제정, 이하“철도안전법 시행규칙”이라 한다) 제70조(철도차량의 내구연한)에 전기동차의 사용내구연한을 25년으로 하고, 정밀진단을 실시하여 5년 연장하도록 정하였다.

2012년 12월 18일 『철도안전법』(법률 제11591호, 2014. 3. 19. 시행) 개정시 『도시철도법』 제22조의5와 『철도안전법』 제37조를 삭제하고, 『철도안전법』 제7조제5항에 따른 『철도안전 관리체계 기술기준』(국토교통부 제2015-477호, 2015. 7. 6.) 12.3.4(노후 철도차량 및 철도시설)에 따라 ‘철도차량 평가전문기관’의 철도차량 평가를 통하여 기대수명의 연장 가능여부를 판정하도록 규정하였다.

서울교통공사는 사고차량 10량 중 6량(차량번호 2010, 2110, 2810, 2910, 2210, 2310호⁶⁾)에 대하여 『도시철도차량 관리에 관한 규칙』 제9조제5항에 따른 『도시철도차량의 정밀진단지침』(국토해양부 제2009-515호, 2009. 7. 31. 개정, 이하 “도시철도차량의 정밀진단지침”이라 한다)에 의거 2011년 9월 27일에 한국철도기술연구원에 정밀진단을 신청하여 2012년 1월 17일 ‘5년 연

6) 사고 발생일 당시 21년 4월 ~ 20년 10월 사용 중 (도시철도법 적용)

장' 판정을 받아 사고 당일까지 사용중에 있었다.

또한, 사고차량 10량 중 나머지 4량⁷⁾(차량번호 2410, 2510, 2610, 2710호)은 2015년 8월에 『철도안전 관리체계 기술기준』 12.3.4(노후 철도차량 및 철도시설)에 의하여 (사)한국철도차량엔지니어링에 정밀진단을 신청하여 2015년 12월 30일 정밀진단 결과 '적합' 판정을 받아 사고 당일까지 사용중에 있었다.

1.8 인근 열차 운행상황

사고열차가 잠실새내역 내선 승강장에 차량고장으로 약 1량 못 미쳐 정차 중 검수관제와 기관사간 응급조치 과정에서 06:30경 두 번째 차량 하부에서 불꽃과 연기가 발생하였다.

사고 당시 열차운행상황을 콘솔재생화면을 재생하여 1분 간격으로 살펴보면, 06:30경 사고열차는 잠실새내역 내선 승강장 정위치에 약 1량 못 미쳐 계속 정차 중이었으며, 반대선 열차(제2013호)는 잠실새내역 외선 승강장에 진입 후 정차하였으며 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실나루역(2역 전) 내선 승강장에 정차 중이었다.

06:31경 반대선 열차(제2013호)는 잠실새내역 외선 승강장을 출발하였으며 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실나루역(2역 전) 내선 승강장에 정차 중이었으며, 06:32경 반대선 후속 열차(제2015호)는 선릉역(3역 전) 외선 승강장에 정차 중이었으며 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실나루역에서 잠실역으로 운행 중이었다.

06:33경 반대선 후속 열차(제2015호)는 선릉역에서 삼성역으로, 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실나루역에서 잠실역으로 운행 중이었으며, 06:34경 반대선 후속 열차(제2015호)는 삼성역(2역 전)에 정차 중이었으며 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실역(1역 전)에 정차 중이었다.

7) 사고 발생일 당시 24년 4개월 사용 중 (철도안전법 적용)

06:35경 반대선 후속 열차(제2015호)는 삼성역에서 종합운동장역으로 운행 중이었으며 내선 후속 열차(제2038호)는 잠실역(1역 전)에 정차 중이었으며, 06:36부터 06:40까지 반대선 후속 열차(제2015호)와 내선 후속 열차(제2038호)는 각각 종합운동장역(1역 전)과 잠실역(1역 전)에 정차 중이었다.

1.9 역사 내 화재 감지설비

잠실새내역은 자동화재탐지설비를 구비하고 있으며 CCTV와 연계 동작하여 종합관제실로 화재경보를 전송하는 시스템으로 역사 내 화재경보 기록 저장장치는 없는 것을 확인하였다.

화재 당시 역직원의 진술에 의하면 한 승객이 승강장 내 소화전 상부에 있는 화재 발신기를 눌러 역사 내 화재경보를 동작시켰으며, 그 정보는 종합관제실로 전송(2017년 1월 22일 06:32:54, 신천 화재알림발생-6(내선잠실방향)) 되어 잠실새내역 화재 상황이 [그림 4]와 같이 시스템적으로 전파된 것을 종합관제실 화재경보 로그 화면에서 확인하였다.

잠실새내역 승강장 내 화재감지기의 기능은 승객이 승강장 내 소화전 화재 발신기를 동작시킨 상태이기 때문에 추가로 동작하지 않은 것으로 조사되었다.

No	날짜	역사	내용
1	2017-01-22 06:32:54초	신천	신천 화재알림발생-6(내선잠실방향)
2	2017-01-22 06:34:13초	신천	신천 화재알림해제-6(내선잠실방향)
3	2017-01-22 06:34:19초	신천	신천 화재알림발생-6(내선잠실방향)
4	2017-01-22 08:21:53초	신천	신천 화재알림해제-6(내선잠실방향)
5	2017-01-22 08:22:02초	신천	신천 화재알림발생-6(내선잠실방향)
6	2017-01-22 08:29:08초	신천	신천 화재알림해제-6(내선잠실방향)
7	2017-01-22 08:29:20초	신천	신천 화재알림발생-6(내선잠실방향)
8	2017-01-22 08:29:53초	신천	신천 화재알림해제-6(내선잠실방향)

* 시작 일자

* 마침 일자

[그림 4] 종합관제실 화재 경보(알람) 로그 화면

1.10 잠실새내역 CCTV 영상기록

잠실새내역 내선 승강장에 설치되어 있는 CCTV 녹화영상을 확인한 결과 [그림 5]와 같이 06:27:42경에 사고열차가 승강장에 진입 중 차량에서 불꽃이 발생하는 것을 확인 하였다.

이후 사고열차가 승강장 정위치에 약 1량 못 미쳐 정차 중 06:29:48경에 다시 차량에서 불꽃과 연기가 발생하자 06:30~06:34분경 승객이 전동차 출입문과 승강장 안전문(PSD) 비상도어를 통하여 하차하는 것을 확인하였다.



① 승강장 진입 중 순간 불꽃발생



② 열차 정차 중 불꽃발생



③ 2-4 PSD 비상도어 열림



④ 4-2 PSD 열림 / 연기발생



⑤ 5-4 PSD 비상도어 열림



⑥ 9-4, 10-1 PSD 비상도어 열림

[그림 5] 잠실새내역 내선 승강장 CCTV 화면

1.11 전기 설비

서울교통공사 2호선 전동차에 공급하는 전력은 한국전력 변전소에서 22,900V를 수전하여 직류 1,500V를 변환하여 사용한다. 사고열차가 운행한 강변역↔잠실새내역 구간은 성수변전소, 강변변전소, 신천변전소, 선릉변전소에서 병렬급전을 하고 있으며, 변전소 보호계통에서 전동차 운행 중 사고전류를 검출하면 해당 변전소에서 전차선에 공급전력을 차단하여 전동차를 보호한다. 또한 사고열차가 운행한 지상구간은 카테나리 전차선, 지하구간은 강체전차선을 사용하여 전동차의 팬터그래프와 접촉하여 전력을 공급한다.

1.12 기상정보

기상청 자료에 따르면 사고 당시의 기온은 -8.9°C , 습도는 52%, 5.7cm의 적설이 있던 것으로 나타났다.

2. 분석

2.1 업무수행사항 분석

2.1.1 사고열차 기관사

사고열차 기관사는 『철도안전법』(법률 제13807호, 2017년 1월 20일 시행) 제 10조에 의한 철도차량 운전면허 자격을 유지하기 위한 신체검사(유효기간, 2018년 6월 30일) 및 적성검사(유효기간, 2026년 6월 30일)를 이수하여 자격요건과 휴양관리에는 문제점이 없었다.

사고열차 기관사는 강변역 정차 중 관제실의 고장표시등 확인 무전통보를 받고 강변역에 정차하여 ‘2036열차 100대, 400대, 800대 OV 점등됐습니다.’라고 응답하고 비상대응절차를 수행하면서 운전실에 비치된 매뉴얼에 의하지 않고 관제의 지시와 자신의 경험을 바탕으로 조치하였다.

사고열차 기관사는 강변역에서 관제의 지시로 UCOS를 취급한 후 리셋스위치를 취급하지 않고 발차하였으며, 잠실역에서 리셋 스위치를 취급하지 않은 것을 기억하고 리셋 스위치를 취급하였다.

2.1.2 사고열차의 차장

사고열차 차장 『철도안전법』 제23조 및 『철도안전법 시행규칙』 제40조 및 제41조에 따른 신체검사(유효기간, 2018년 5월 17일), 적성검사(유효기간, 2020년 5월 5일)를 수검하여 자격요건과 휴양관리의 문제점은 없었다.

사고열차 차장은 강변역에서 기관사로 부터 ‘출입문을 개방하고 안내방송을 하라.’는 지시를 받고 업무 매뉴얼에 따라 출입문을 개방하고 안내방송을 하였으며, 잠실새내역을 진입 중 비상제동이 체결에 따른 차량고장 조치 안내방송을 하였으며, 기관사로부터 ‘승객이 비상코크를 임의로 작동시키고

외부로 나가면 위험할 수 도 있다는 안내방송을 하라.’ 지시를 받고 고장 발생 조치중이라는 안내방송을 3회 시행하였다.

사고열차 차장은 화재 발생 후 대피 안내방송을 실시하고 9호차, 8호차로 이동하였으며, 출입문 코크를 열고 승객을 모두 대피시킨 후 7호차로 이동, 코크를 열고 승객을 대피 시켰고 객실 소화기를 소지하고 1호차까지 이동하면서 남아 있는 승객을 확인한 점은 차장의 직무를 성실히 수행한 것으로 분석되었다.

2.1.3 종합관제소 운전관제사

종합관제소 운전관제사는 교육수료, 적성검사 합격 및 신체검사 합격 등 관제업무 수행에 필요한 자격 요건에는 문제가 없었다.

운전관제사는 06:15경 전력관제의 소내 일제방송으로 사고를 인지하고 급전 모니터로 단전상태를 확인하였으며, 운행 중인 열차의 고장표시등 점등상태를 확인하던 중 제2036열차에서 OV등 점등을 열차무선전화로 통보해 왔을 때 인접의 검수관제에 고장조치를 의뢰하였고 검수관제는 응급조치 후 운전관제가 시행해야 할 열차제어(발차지시)를 시행하였다.

운전관제사는 잠실새내역에 사고열차가 비상정차 했을 때까지 화재가 아닌 장애로 판단하여 대피명령을 내리지 않았으며, 기관사로부터 화염, 연기 등의 단어를 듣고 난 후에 열차화재로 인식하고 승객대피를 지시한 것으로 확인되었다.

2.1.4 검수관제사 A, B

종합관제소 검수관제사A는 06:28에 전력관제의 전차선 단전 소내 방송으로 사고 내용을 접하고 열차번호, 차량편성, 차량번호를 확인했으며, 2410호 유니트컷(UCOS) 조치를 다른 검수관제가 취했음을 듣고서 기관사에게 리셋

금지를 지시했고 전차선 급전을 운전관제에 요청하였다.

검수관제 A는 잠실새내역에서 급전 후 재차 단전되었다고 소내 방송을 듣고 기관사에게 전체 차량의 팬토타프 하강을 지시하였고 2110호 2410호 부동취급을 지시하였으며, PANVN을 off할 것을 지시한 후 기관사로부터 2110호 2410호 PANVN을 off하여 부동취급을 완료했다는 통보를 받았다.

검수관제사B는 21일 18시에 출근해서 다음 날 00:30까지 야간근무 후 휴식하고 04시경부터 근무 중 관제탁 C탁에 접근하여 기술지원을 하였으며, 2호선 검수관제탁에서 근무 중 강변역 내선 전차선 단전 소내 방송을 듣고 운전관제탁으로 이동하여 운전관제의 무전기로 기관사에게 열차번호와 차량편성을 확인했으며, OV등 점등을 확인하고 전차선 급전을 대기하라고 지시하였다.

검수관제사B는 매뉴얼과 절차서보다는 자신의 경험을 바탕으로 기술지원 업무를 수행하였으며, 단전 발생 시 고장차호 관련 유니트 개방과 부동취급과 관련하여 역전기와 제동핸들의 위치 등 취급 관련 절차들을 자신의 기술력을 바탕으로 수행한 것으로 분석되었다.

2.1.5 업무수행사항 종합분석

사고열차기관사는 전차선 단전으로 발생한 차량의 응급조치를 수행함에 있어 운전실에 비치된 매뉴얼과 절차서를 직접 보면서 단계별로 기술조치를 수행하지 못하였으며, 그 결과로 UCOS를 취급한 후 리셋스위치를 취급하지 않고 발차하여 잠실역에서 리셋스위치를 취급하였다.

검수관제사 A와 B는 차량고장의 기술적 조치를 매뉴얼과 절차서를 직접 보면서 단계별로 시행하지 않고 기관사와 열차무선전화를 통하여 자신들의 경험을 바탕으로 문제를 함으로써 완벽한 비상대응과 기술지원이 이루어지지 못하고 있었다.

2.2 주요 전장품 분석

2.2.1 화재사고 발생 전·후 상황

사고열차가 구의역을 출발하여 강변역에 진입, 제동을 체결하여 정차하는 과정에서 4호차에서 과전류가 검출되어 운전실 표시판에 과전류 표시등이 점등되었다.

전차선에 전력을 공급하는 강변변전소는 06:14:57에 사고전류를 검출, 전차선 공급전력을 차단하였고, 동일 전차선에 병렬 급전을 하는 성수변전소는 06:14:58에 전차선 공급전력을 차단하였다.

전력관제사는 운전관제의 급전 요청에 따라 06:16:42에 성수변전소 급전계통을 통해 전차선 전력을 공급하였고, 06:17:01에 강변변전소 급전계통을 통해 전차선 전력을 공급하였다.

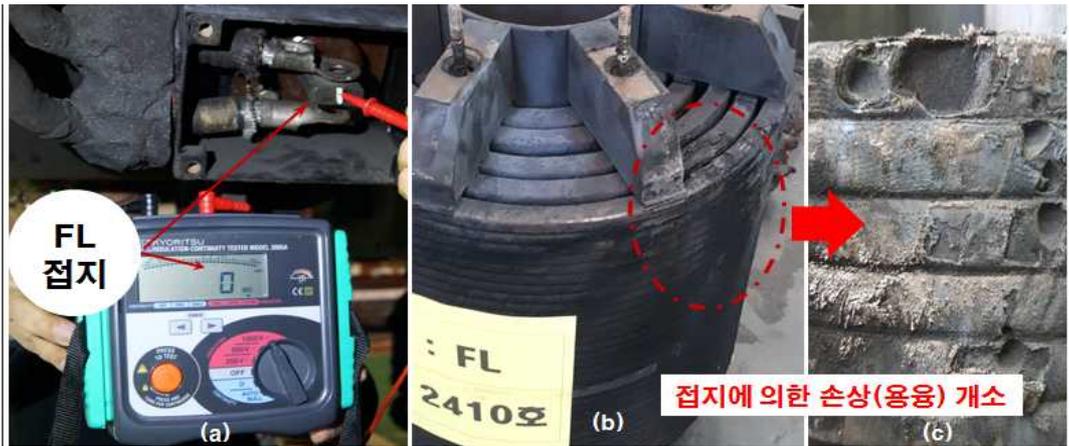
이때 강변변전소(06:17:12)와 성수변전소(06:17:13)에서는 사고전류를 검출하여 자동으로 전차선 전력 공급이 다시 차단되었다.

전력관제사는 운전관제의 2차 급전 요청에 따라 06:19:33경에 성수변전소 급전계통을 제어하여 전차선 전력을 공급하고, 06:19:50에 강변변전소 급전계통을 제어하여 전차선 전력을 공급하였다.

2차 단전 발생 이후 사고열차 기관사는 검수관제의 지시에 의하여 4호차 UCOS(Unit Cut Out Switch)를 차단 후 1호차와 8호차의 동력만으로 강변역을 출발하였다.

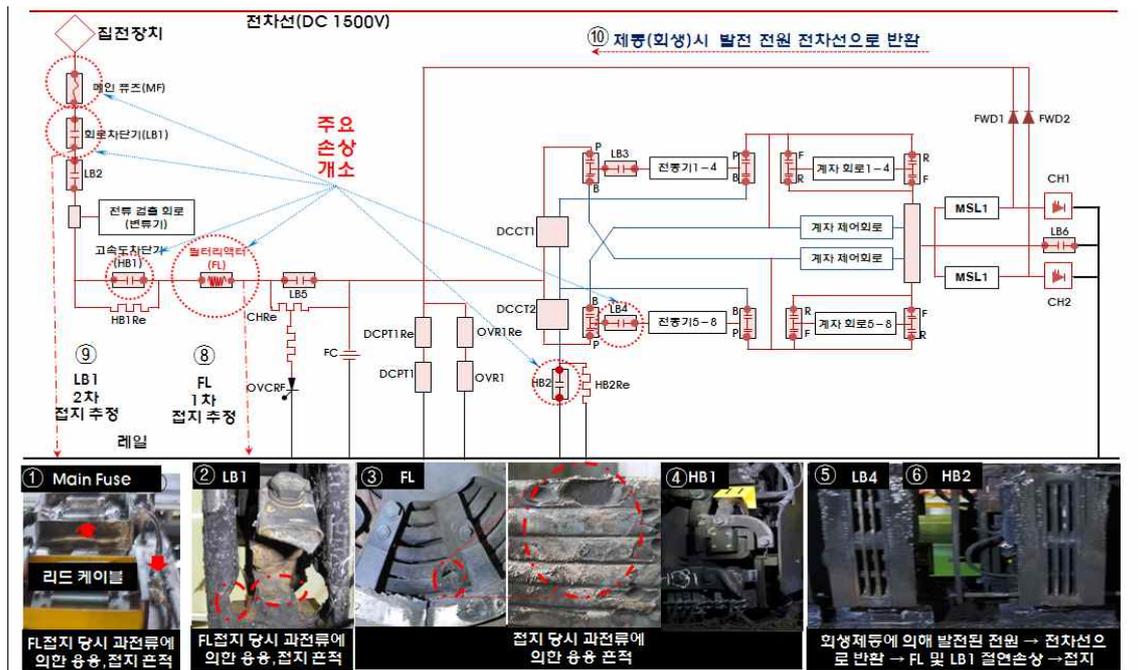
4호차의 UCOS를 차단 후 정상적인 급전과 열차운행이 가능했던 사실로 볼 때, 강변역에서의 전차선 단전원인은 4호차의 고장 때문으로 볼 수 있다. [그림

6]의 (a)는 4호차의 필터리액터(FL)의 외함(대지)과 단자가 완전히 접지(0MΩ)되어 있는 상태를 보여주며, [그림 6]의 (b), (c)는 필터리액터(FL) 권선이 대지와 접지를 반복, 과전류가 흐르면서 발생하여 권선이 용융(鎔融)된 것으로 보여준다.



[그림 6] 필터리액터 절연파괴에 의한 소손 상태

사고열차가 잠실역에서 잠실새내역으로 운행 중 [그림 7]의 ③과 같이 1호차의 필터리액터(FL) 권선의 절연파괴로 접지현상이 발생, 과전류가 흐르면서 필터리액터(FL)가 손상된 것으로 판단된다.



[그림 7] 주회로 개략도 및 전장품 소손상태

1호차의 필터리액터(FL)접지로 회로차단기1(LB1)의 편동선은 [그림 7]의 ②와 같이 과전류에 의한 불꽃(arc) 섬락(flashover)현상에 의해 절연지주와 접촉점 지지용 절연이 파괴되어 레일과 접지되면서 회로차단기1(LB1)이 소손된 것으로 판단된다.

회로차단기1(LB1)에서 접지가 발생하였으나 과전류 검출회로가 회로차단기2(LB2) 후단에 설치되어 고속도차단기1(HB1)의 감류기능과 회로차단기1(LB1)의 차단 기능이 활성화 되지 않았고, 주퓨즈가 사고전류를 차단하지 못하여 화재가 확산된 것으로 판단된다.

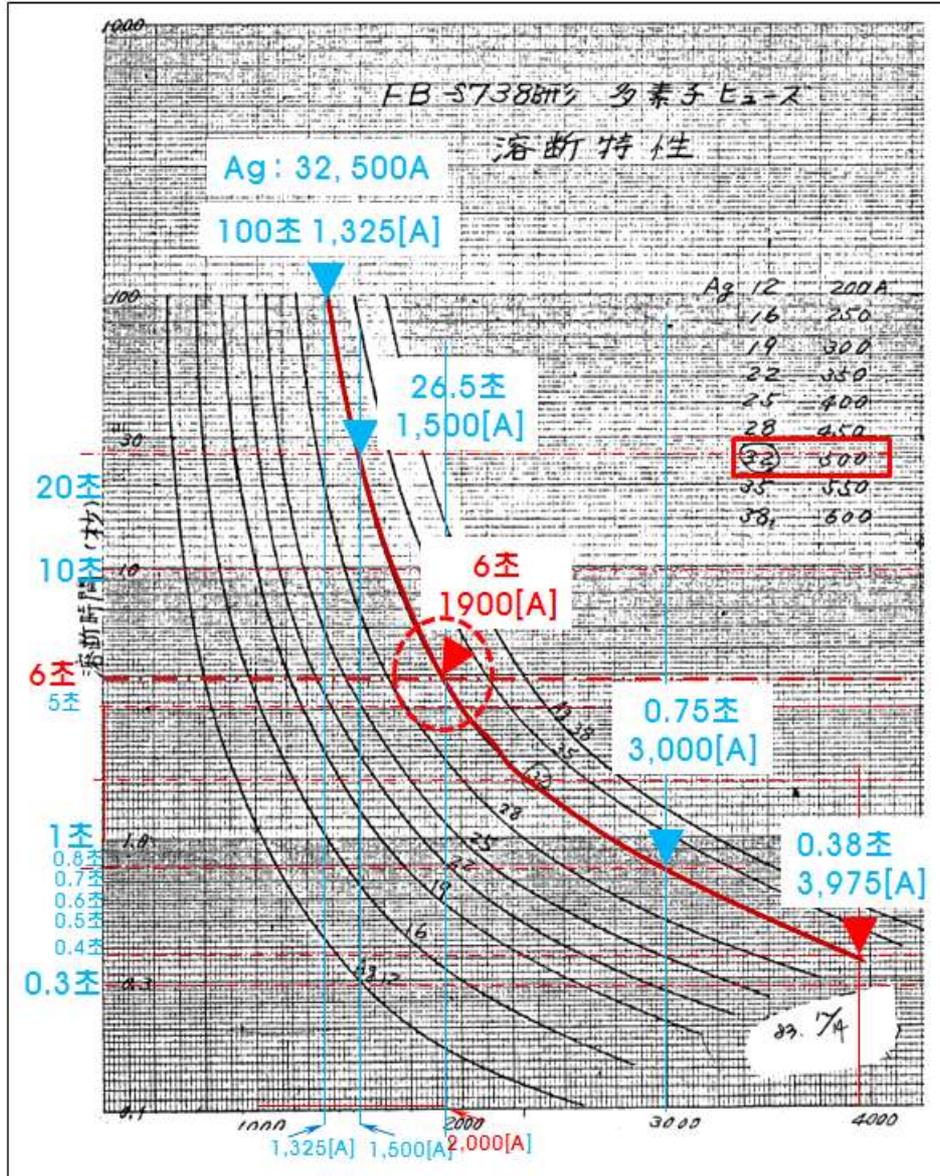
2.2.2 주 퓨즈(Main Fuse) 분석

주 퓨즈(FB-S738B)는 전동차의 전기회로에서 발생하는 단락이나 과부하로부터 주회로를 보호하며 정격은 DC1500V 1500A(500A×3)이다. 주 퓨즈는 여러 개의 작은 구멍이 있는 세라믹 카트리지 속에 용단되기 쉬운 순은선을 평행하게 배열한 구조로 제작되어 사고전류 등 대전류가 흐를 경우 용단되어 회로를 차단하여 각종 기기를 보호한다. [그림 8]은 사고 전류에 의해 손상된 사고 열차 1호차의 주 퓨즈의 상태를 보여준다.



[그림 8] 주퓨즈 손상 상태

화재 당시 잠실새내변전소에 기록된 사고 최고전류는 5,718A로 주 퓨즈는 3개의 퓨즈가 병렬로 연결되어 1개당 1,906A(5,718A/3개)의 사고 전류가 흐른 것으로 추정되며, 이때 주 퓨즈는 [그림 9]와 같이 약 6초 경과 후 용단되는 특성을 갖고 있기 때문에 잠실새내변전소의 차단기(54F2) 및 선릉변전소의 차단기(54F4)가 동작할 때 까지 주 퓨즈는 용단되지 않은 것으로 판단된다.

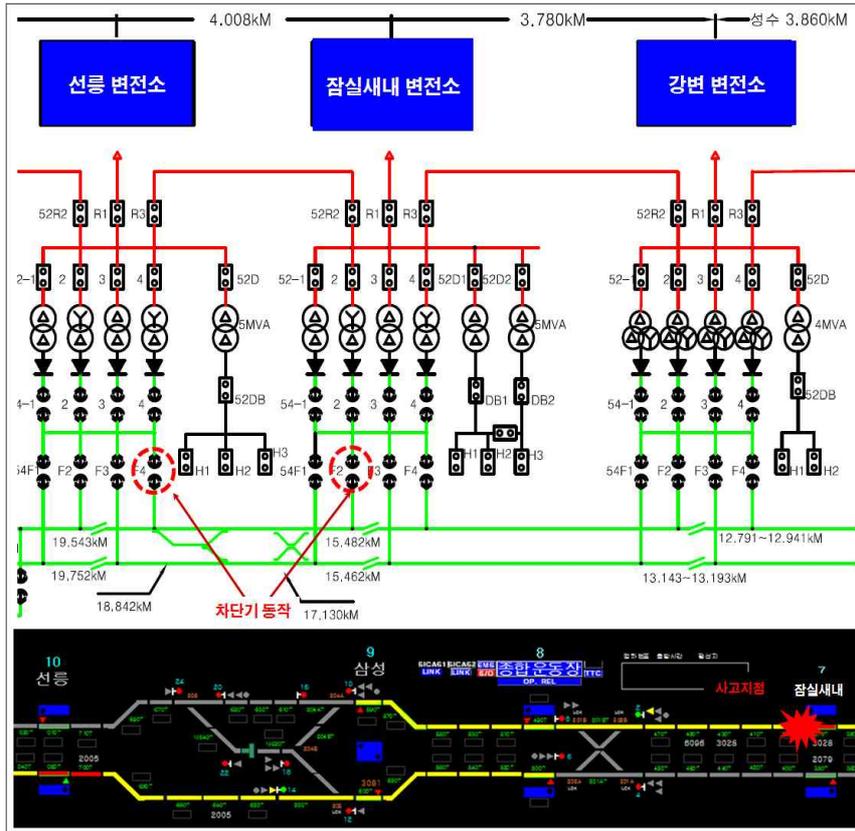


[그림 9] 주퓨즈 용단 특성

2.2.3 사고 전류 분석

[그림 10]은 사고열차가 잠실새내역에 진입할 때 잠실새내변전소 차단기

(54F2) 및 선릉변전소 차단기(54F4)에서 전차선 전력을 차단한 급전계통도이다.



[그림 10] 사고열차 급전 계통도

[그림 11]과 같이 사고열차에서 접지가 발생하였을 때 잠실새내변전소의 해당 차단기(54F2)의 사고전류는 최고 5,718A이었으며, 사고전류 기울기가 72kA 이상인 상태에서 사고전류 증가분(ΔI) 3,000A를 초과하지 않은 2,297A로 검출되어 35ms지연(한시)후 06:27:42에 전차선 공급전력을 차단한 것으로 판단된다.

2017-01-22 06:28:48:97 0217: Input - Feeder DS Position ON: Deactivated	
2017-01-22 06:28:43:74 0213: Input - HSCB Position ON: Deactivated	차단 시간 보정 : 06:27:42
2017-01-22 06:28:43:61 0215: Interripping OUT: Deactivated	
2017-01-22 06:28:43:52 0214: Interripping OUT: Activated	
2017-01-22 06:28:43:45 Fault detected : DOL Positive (Delta I)	검출 시간 보정 : 06:27:42
Nb detec I : 18	Nb detec I : 5
Slope F : 18 kA/s	Slope E : 72 kA/s
duree T : 지연(한시)시간 35 ms	t_delta_l_max : 0 ms
delta l_max : 3000 A	DELTA I : ΔI 2297 A
delta l_min : 700 A	

[그림 11] 잠실새내변전소 차단기(54F2) 차단기록

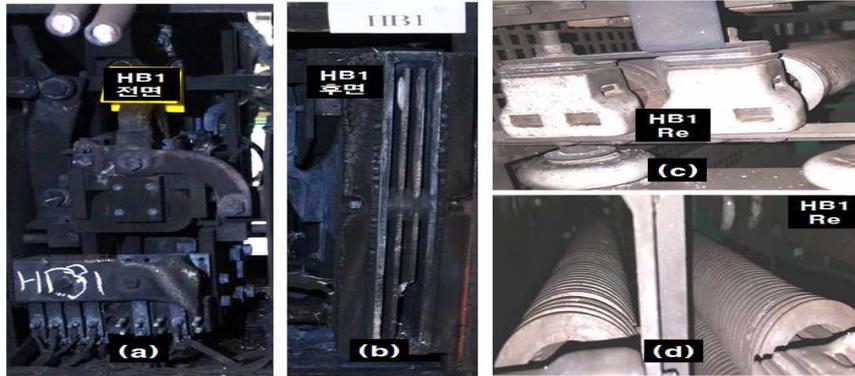
잠실새내 및 선릉변전소는 [표 8]과 같이 사고열차의 과전류를 검출하여 06:27:42경에 차단기를 개방하였으며, 운전관제의 요청으로 선릉변전소와 잠실새내변전소의 차단기를 06:29:47 및 06:29:49경에 투입하여 전차선에 전력을 공급하였으나, 약 5초 경과 후 사고전류를 검출하여 자동으로 차단기가 개방되었다.

시간	변전소 명칭	포인트 명칭	내용	비고
06:27:42	잠실새내	54F2	동작	경보(사고전류 검출)
06:27:42	잠실새내	54F2 차단기	개방	단전
06:27:42	선릉	54F4	동작	경보(사고전류 검출)
06:27:43	선릉	54F4 차단기	개방	단전
06:29:47	선릉	54F4 차단기	투입	급전
06:29:49	잠실새내	54F2 차단기	투입	급전
06:29:54	잠실새내	54F2	동작	경보(사고전류 검출)
06:29:54	잠실새내	54F2 차단기	개방	단전
06:29:54	선릉	54F4	동작	경보(사고전류 검출)
06:29:54	선릉	54F4 차단기	개방	단전
07:06:54	선릉	54F4 차단기	투입	급전
07:07:03	잠실새내	54F2 차단기	투입	급전

[표 8] 잠실새내 및 선릉변전소 차단기 동작기록

2.2.4 1호차 차단기류 분석

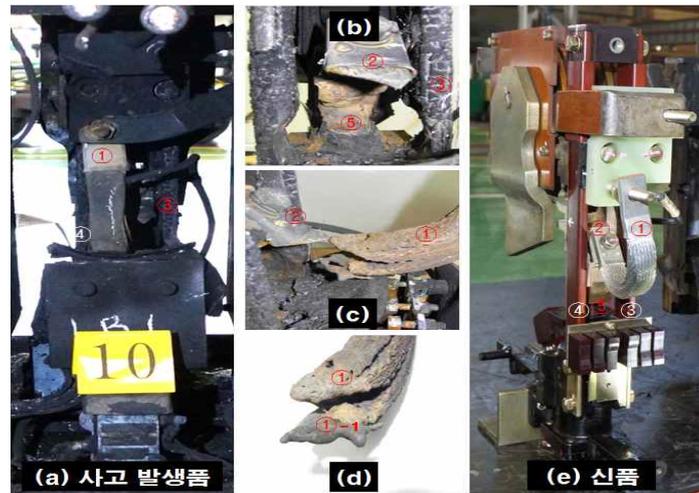
사고열차 1호차의 차단기함에는 회로차단기(Line Breaker)와 고속도 회로차단기(High Speed Breaker)가 실린더의 압축공기를 사용하여 주 회로를 개·폐(Open/Close)하도록 구성되어 있으며, [그림 12]의 (a), (b)는 고속도차단기(HB1)가 닫혀있는 상태에서 과전류가 통전되면서 생긴 열흔과 인접에 설치된 회로차단기1(LB1)의 편동선 단선 과정에서 발생한 과전류에 의해 손상된 것으로 보여진다. [그림 12]의 (c), (d)는 고속도차단기1(HB1)와 병렬로 연결된 감류저항이며 손상되지 않았다.



[그림 12] 고속도차단기(HB1) 손상 및 감류저항(HB1Re) 상태

이에 따라 필터리액터(FL) 접지에 의한 화재사고가 발생하였을 때까지 1,800A이하의 접지전류가 흐르면서 1,800A 이상 과부하 발생 시 사고 전류로 판단하여 차단되도록 설정된 고속도차단기(HB1)는 차단동작을 수행하지 않은 것으로 판단된다.

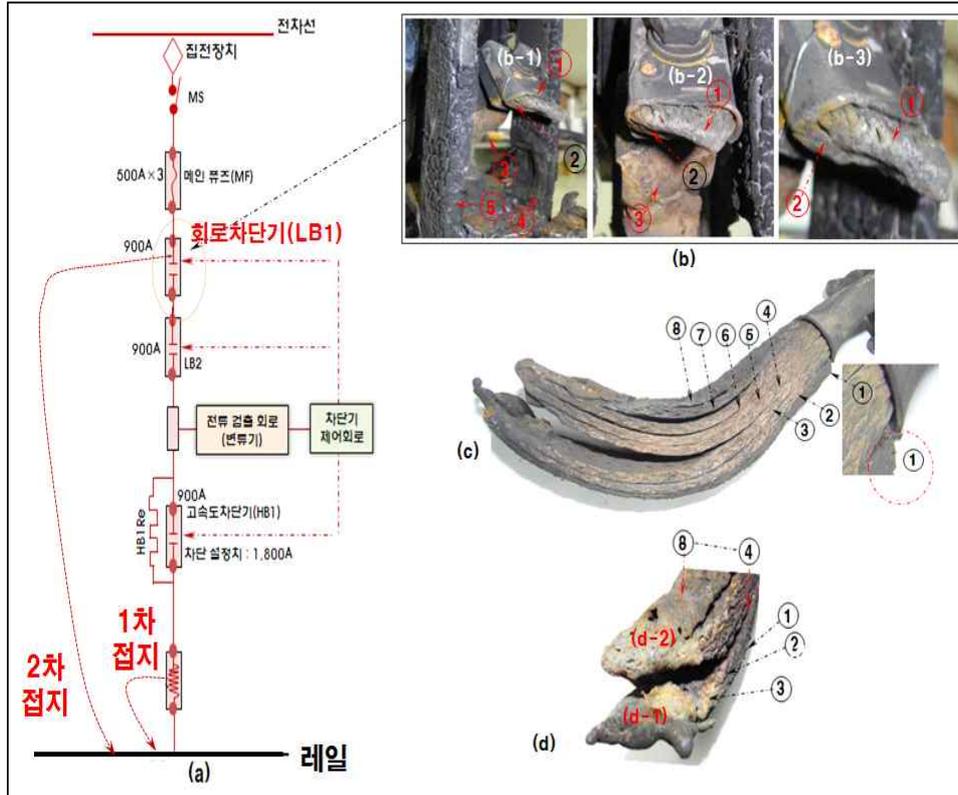
[그림 13]은 필터리액터(FL)에서 접지가 발생하면서 가동접촉자를 연결하여 주는 편동선이 과전류에 의해 아크를 동반한 접지가 발생하면서 편동선 용융, 절연지주 손상 및 절연체들이 손상된 상태를 보여준다.



[그림 13] 회로차단기(LB1) 손상 상태

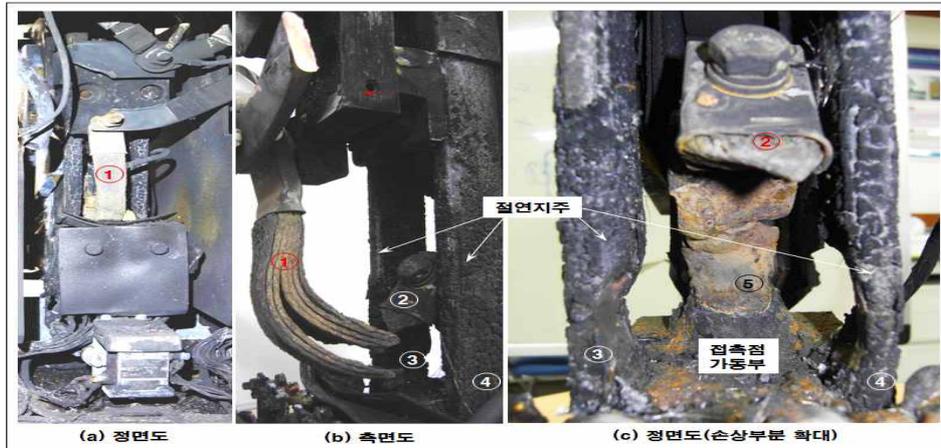
[그림 14]의 (b), (c)는 편동선이 용단된 형상이며, (c)의 ①부분은 제작시 편조선을 단자에 삽입하여 압착하는 과정에서 단선된 것으로 판단되며, (c), (d)의 ④~⑧은 금속 피로발생 등으로 육안으로 식별하기 곤란한 단선이 진행되

어 있던 것으로 추정된다.



[그림 14] 필터리액터 접지에 의한 편동선 용융 소손 상태

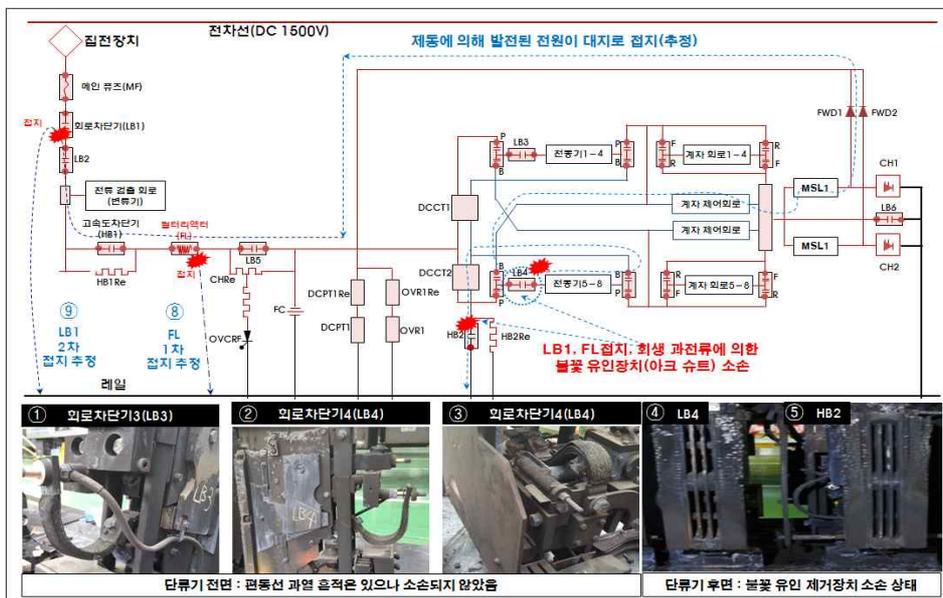
[그림 14]의 (a)에서와 같이 회로차단기(LB1)에서 2차 접지가 발생하였을 때는 사고전류 검출 회로가 회로차단기(LB2) 위치에 설치되었기 때문에 회로차단기1(LB1)에서 발생한 사고전류를 검출할 수 없었다. 사고열차 운행 중 필터리액터(FL)의 절연과피에 의한 접지가 발생하면서 지속적으로 과전류를 통전하는 과정에서 [그림 14]의 ④~⑧ 편동선이 육안으로 확인하기 힘든 기존의 단선으로 인해 허용전류가 감소되었고, ①~③번 편동선이 과전류로 인해 용단되면서 발생한 불꽃에 의해 [그림 15]의 ③, ④ 절연지주의 절연이 파괴되면서 2차 접지가 발생된 것으로 추정된다.



[그림 15] 절연지주 및 접촉점 가동부 절연과괴

따라서 기존 회로차단기1, 2(LB1, 2) 설치 위치에 고속도차단기(HB) 설치 및 사고전류 검출회로를 회로차단기1(LB1)와 주퓨즈(main fuse) 사이에 설치하는 것을 검토할 필요가 있다.

[그림 16]의 ①~⑤는 사고열차가 잠실새내역에 진입하면서 회생제동에 의해 발전된 전류를 전차선으로 공급하는 과정에서 필터리액터(FL) 및 회로차단기1(LB1)가 접지되는 순간 과전류 개·폐시 발생한 불꽃(아크)에 의해 고속도차단기2(HB2) 및 회로차단기4(LB4)의 불꽃 유인장치(아크슈트)가 소손된 것으로 추정된다.

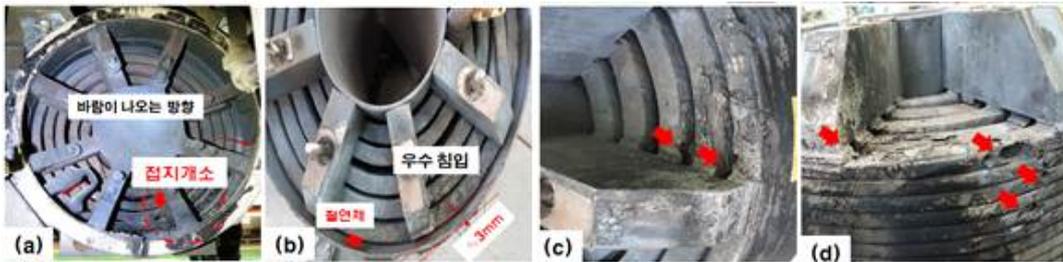


[그림 16] 고속도차단기2(HB2) 및 회로차단기4(LB4) 손상 상태

2.2.5 필터리액터(FL) 분석

필터리액터(FL)는 전동차가 직류 1,500V의 가선구간을 운행할 때 입력전압에는 많은 고조파 전압성분이 포함되어 있어 고조파 성분을 제거하기 위해 사용하는 설비이다.

사고당시 사고열차가 지상에서 운행하는 동안 5.7cm의 눈이 온 상태였으며, 선로변에 쌓여 있던 눈이 필터리액터(FL)에 장착된 냉각용 송풍기에 흡입되면서 손상된 필터리액터(FL)의 권선과 외함의 금속에 눈이 달라 붙으면서 눈이 녹는 과정에서 [그림 17]의 (a), (b)와 같이 접지현상이 발생한 것으로 추정된다. 이 과정에서 1,800A이하의 과전류가 레일로 흐르면서 [그림 17]의 (d)와 같이 아크에 의한 권선이 소손된 것으로 판단된다.



[그림 17] 필터리액터(FL) 손상 상태

2.2.6 유지보수 적정성 분석

2.2.6.1 주 퓨즈(MF) 유지보수

주 퓨즈(Main Fuse)의 유지보수 검사내용 및 검사주기는 [표 9]와 같이 일상(1일), 월상(1개월), 중간(2년), 전반(4년) 검사를 수행하도록 규정하고 있으며, [그림 18]과 같이 주 퓨즈(MF)의 저항치 측정(규정된 저항치보다 10%이상 차이가 나면 교환)란에 “○”으로 표기하였고, 각 차호 별(2010, 2410, 2810) 총 9개의 퓨즈별로 저항치 및 절연저항 측정 등은 관리하지 않고 있었다.

검사내용	검사주기			
	일상	월상	중간	전반
합 외관 상태	○	○	○	○
애자 청소		○	○	○
카바, 패킹 및 고정단자 조임 상태		○	○	○
퓨즈 용단 확인			○	○
저항측정(규정된 저항치보다 10%이상 차이나면 교체)			○	○
절연저항 측정				

[표 9] 검사 항목 및 주기

특고압 검사표(현대초파 10량)						특고압 측정표(현대초파 10량)								
편성번호	검사종별	입장일	출장일	담당부서	작업부서	편성번호	검사종별	입장일	출장일	담당부서	작업부서			
210	중간검사	2013-09-27	2013-10-29	부품공장	특고압반	210	중간검사	2013-09-27	2013-10-29	부품공장	특고압반			
검사항목	세부항목	검사내용				확인	검사자	검사항목	측정구분	세부사항	2110	2410	2810	검사자
	주퓨즈(MF)	퓨즈의 저항치 측정(규정된 저항치보다 10%이상 차이 나면 교체)				○			MF1	C72628T	C713019	C712982		
		애자청소, 균열상태				○			MF2	C726223	C713014	C712980		
		절연저항측정				○			MF3	C726168	C713003	C713080		
		퓨즈 용단 확인				○								
		합 외관 상태				○								
		카바, 패킹 및 고정단자 조임상태				○								
특고합 검사표(확인란 “○”기입)						특고압 측정표(주퓨즈 제작번호 기입)								

[그림 18] 특고압 검사표 및 측정표

주 퓨즈는 전동차 도입(1990.11.)이후 교체한 실적이 없으며 제작사에서 권고하는 교체주기(7~10년)보다 16~19년을 초과 사용하고 있었으나, 화재사고 예방 및 전동차보호를 위해 용융속도가 빠른 새로운 형식의 주 퓨즈로 교체하고, 서울교통공사 『2호선 초파(일본식) 전동차 검사 시행예규』 제6조(주회로 및 제어기기)에 따라 [표 10]과 같이 주 퓨즈 저항값을 측정하여 초기값과 비교, 열화 또는 노후화 진행여부를 판단, 관리하여야 할 것으로 판단된다.

검사내용	검사개소	기준값 (μΩ)	2110호		2410호		2810호	
			측정값	적정성	측정값	적정성	측정값	적정성
퓨즈저항	주퓨즈1							
	주퓨즈2							
절연저항	주퓨즈1							
	주퓨즈2							

[표 10] 주퓨즈 검사표(예시)

2.2.6.2 단류기 유지보수

단류기류의 유지보수는 [표 11]와 같이 일상(1일), 월상(1개월), 중간(2년), 전반(4년) 검사를 수행하고 있으나, 단류기함 측정표를 확인한 결과 [그림 19]와 같이 절연저항은 각 차호별로 일괄하여 측정하여 기록하였고, 절연 내전압 시험은 검사기록에서 확인 할 수 없었다.

검사내용	검사주기			
	일상	월상	중간	전반
절연저항 측정	-	-	○	○
필요시 절연 내전압 시험	-	-	-	○

[표 11] 검사 항목 및 주기

단류기함 측정표(현대초과 10량)							단류기함 측정표(현대초과 10량)								
편성번호	검사종별	입찰일	출찰일	담당부서	직업부서		편성번호	검사종별	입찰일	출찰일	담당부서	직업부서			
210	중간검사	2013-09-27	2013-10-29	부품공공	특고압반		210	전반검사	2015-08-24	2015-09-25	부품공공	특고압반			
검사항목	세부항목	기준치	2110	2410	2810	검사자	검사항목	세부항목	기준치	2110	2410	2810	검사자		
LB1	동작전압	60V이하	50V	50V	50V		LB1	동작전압	60V이하	55V	55V	55V			
	코일저항	600Ω ±5%	587Ω	627Ω	591Ω			코일저항	600Ω ±5%	610Ω	615Ω	620Ω			
HB1	동작전압	60V이하	50V	51V	51V		HB1	동작전압	60V이하	55V	55V	55V			
	차단전류	1800A	1800A	1800A	1800A			차단전류	1800A	1800A	1800A	1800A			
절연저항	코일저항	600Ω ±5%	613Ω	606Ω	608Ω		절연저항	코일저항	600Ω ±5%	627Ω	620Ω	615Ω			
	저압-고압	100MΩ 이상	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ			저압-고압	100MΩ 이상	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ			
	저압-대지	50MΩ 이상	1950MΩ	2000MΩ	1870MΩ			저압-대지	50MΩ 이상	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ			
	고압-대지	100MΩ 이상	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ			고압-대지	100MΩ 이상	2000MΩ	2000MΩ	2000MΩ			
단류기함 측정표(2013.9.27.)							단류기함 측정표(2015.8.24.)								

[그림 19] 검사 항목 및 절연저항 측정 기록

[표 12]와 같이 단류기함 절연저항을 측정 관리할 경우 회로차단기와 고속도 차단기, 제어계통 등에 대해 정확한 이상 유무 판단과 유지보수 관리를 수행할 수 없다. 단류기 함내에 설치된 회로차단기 및 차단기는 고압 대전류를 차단하기 때문에 아크 등에 의한 절연재의 열화에 따라 절연내력이 저하될 수 있다. 특히 20년 이상 사용한 초과차의 경우 단류기함을 비롯한 차단기 등을 교체하지 않고 연속 사용하였기 때문에 절연저항 측정과 절연내력시험을 병행하여 관리할 필요가 있다.

검사 대상	검사 내용	기준값	2110		2410		2810	
			측정값	적정성	측정값	적정성	측정값	적정성
회로차단기 (LB1)	절연저항							
	절연내력							
고속도차단기 (HB1)	절연저항							
	절연내력							
제어회로 (각 회선마다)	절연저항 (선간)							
	절연저항 (대지)							

[표 12] 절연저항 및 내전압 측정 기록(예시)

절연저항과 절연내력을 측정할 때 반드시 모든 회로차단기를 개방하고 장치별, 단자별, 주회로, 제어회로 등을 구분하여 측정하고, [표 13]과 같이 기록·관리할 필요가 있다.

2.2.6.3 편동선 유지보수

회로차단기(LB) 및 고속도차단기(HB)에 사용하는 편동선은 가동 접촉점을 동작시킬 때 반복적으로 동작하기 때문에 주기적으로 검사를 수행하고 10%이상 단선 발생시 교체하도록 되어 있다. 편동선은 장기 사용(약 2,079,480회 = 43개역 × 역당 2회(정지/역행) × 3순환 × 365일 × 26년 사용)으로 인한 노후, 단선현상이 발생하여 국산 대체품을 개발하여 사용하고 있으나, 편동선의 신뢰성 확보를 위한 인장강도, 유연성, 허용전류 등 계량화 결과 없이 사용하여 수명을 예측할 수 없고, 육안점검에 의존하는 실정이다.

[표 13]은 2012년~2017년 사고발생 이전까지 단선 또는 불량 발생하여 편동선을 교체하였으나, 사고열차(2110호)의 회로차단기1(LB1) 편동선을 교체한 이력이 없다. 따라서 편동선의 노후상태를 정확하게 점검하기 위해 점검방법 개선과 신뢰성 검증을 위한 인장강도, 가요성, 허용전류 설정, 수명예측을 통한 예방정비를 할 필요가 있다.

연번	교체일시	편성	차호	교체 내용	수량
1	'12-4-6	242	2442	LB3 편동선불량	1
2	'12-7-12	238	2138	LB3,4,5편동선 불량	3
3	'12-7-12	238	2838	LB3,4편동선 불량	2
4	'12-9-14	210	2110	LB4 편동선 불량	1
5	'12-9-20	212	2812	LB4 편동선 절손	1
6	'12-11-22	242	2442	LB4편동선불량	1
7	'13-1-16	213	2813	LB3 편동선 불량	1
8	'13-9-16	241	2841	LB4 편동선 절손	1
9	'13-12-17	244	2144	LB3 편동선 절손불량	1
10	'14-1-10	212	2412	LB3 편동선 불량	1
11	'14-1-13	206	2406	LB3 편동선 불량	1
12	'14-3-3	214	2114	LB3 편동선 불량	1
13	'14-3-7	242	2142	LB4 편동선 불량	1
14	'14-3-7	242	2842	LB3 편동선 불량	1
15	'14-8-11	210	2410	LB4 편동선 불량	1
16	'14-8-11	210	2410	LB3 편동선 불량	1
17	'14-9-19	213	2113	LB4 편동선 절손	1
18	'15-1-13	213	2813	LB2 편동선 절손	1
19	'15-3-31	237	2137	LB2 편동선 절손	1
20	'15-4-8	236	2136	LB4 편동선 절손	1
21	'15-7-3	209	2109	LB3 편동선 불량	1
22	'15-10-7	214	2414	LB3 편동선 불량	1
23	'16-2-19	242	2142	LB4 편동선 절손	1

[표 13] 편동선 불량 교체 실적

2.2.6.4 필터리액터 유지보수

[그림 20]은 필터리액터(FL)의 중간검사표(2년검사)이며, 절연저항 측정결과는 양호한 상태(무한대, ∞)로 기록되어있다. 필터리액터(FL)의 권선에 균열 등 노후화가 진행된 상태에서도 습기가 없는 상태에서 절연저항을 측정하면 양호한 결과가 나올 수 있다. 그러나 열차가 운행 중인 상태에서 눈, 비 등 습기가 유입될 경우에는 절연저항 저하로 접지 및 화재가 발생 할 수 있다.

서울교통공사는 사고열차의 필터리액터(FL)를 열화된 절연도료를 제거하지 않은 상태에서 재 함침⁸⁾하여 사용하고 있으나, 오랜기간(26년) 사용에 따른 권

8) 함침(含浸, impregnation) : 필터리액터(FL), 전동기, 발전기 등의 절연권선(코일)에 미세한 구멍이 있을 경우 누전의 우려가 있기 때문에 진공의 상태에서 액체상태의 절연도료로 밀어넣는 작업을 말함

선(코일)을 둘러 싸고 있는 절연테이프와 절연도료의 열화와 균열이 발생하면서 습기가 침입할 경우 절연내력 저하로 인한 접지가 발생할 가능성이 충분하기 때문에 필터리액터(FL)의 절연저항을 양호하게 관리하기 위해서 열화된 도료를 완전히 제거한 상태에서 재 함침하여 사용할 필요가 있다.

또한 필요시 수행하는 절연내력시험을 정기적으로 수행할 수 있도록 검사 주기를 변경하고, 절연저항 관리기준(1MΩ이상)을 상향 설정하여 관리할 필요가 있다.

리액터 측정표 [MSL, FL] (현대초파 10량)						
편성번호	검사종별	입 장 일	출 장 일	담당부서	직업부서	
210	중간검사	2013-09-27	2013-10-29	회전기공장	CM반	
검사항목	세부항목	세부사항	2110	2410	2810	검사자
FL(LF)	제작번호	취거번호	HYFL-0036(90)	JMSA-06(91)	HYFL-0030(90)	
		취부번호	HYFL-0036(90)	JMSA-06(91)	HYFL-0030(90)	
	절연저항	1MΩ이상	∞	∞	∞	
	시험사항	양, 부	양호	양호	양호	

[그림 20] 필터리액터 절연저항 측정값

2.3 차량의 내구연한과 정밀 안전진단 적정성 분석

차량번호 2010, 2110, 2810, 2910, 2210, 2310호 등 6량(1990. 5. ~ 11. 도입)과 차량번호 2410, 2510, 2610, 2710호 등 4량(1991. 4. 도입)에 대한 내구연한과 정밀 안전진단 적정성에 대하여 분석하였다.

서울교통공사는 2011년 9월 27일에 차량번호 2010, 2110, 2810, 2910, 2210, 2310호 등 6량⁹⁾에 대하여 『도시철도차량 관리에 관한 규칙』 제9조 제5항에 따른 『도시철도차량의 정밀진단지침』(국토해양부 제2009-515호, 2009. 7. 31.)에 의거 한국철도기술연구원에 정밀진단을 신청하여 2012년 1월 17일 ‘5년 연장’ 판정을 받았다.

9) 사고 발생일 당시 21년 4월 ~ 20년 10월간 사용 중 (도시철도법 적용)

진단 당시 『도시철도차량의 정밀진단지침』에 따라 고압전선과 보조전원전선에 대해 직류누설시험, 내전압시험 등 전선열화 검사만 시행하였으며 지침에 정하지 않은 추진제어장치, 보조전원장치, 고전압장치 등의 전기특성검사는 시행하지 않았다.

서울교통공사는 2015년 8월에 차량번호 2410, 2510, 2610, 2710호 등 4량¹⁰⁾에 대하여 『철도안전법』 제7조 제5항에 따른 『철도안전 관리체계 기술기준』(국토교통부 제2015-477호, 2015. 7. 6.)에 의하여 (사)한국철도차량엔지니어링에 정밀진단을 신청하여 2015년 12월 30일 정밀진단 결과 ‘적합’ 판정을 받았다.

진단 당시 『철도안전관리체계 기술기준』 [별표 4](노후 철도차량 및 철도시설이 유지관리 세부기준) 11. 노후 철도차량의 안전성 평가 아. 항의 전기특성검사 대상 항목 중 추진제어장치, 보조전원장치, 고전압장치, 집전장치 및 차체배선에 대한 검사는 2. 적용 대상 나. 항¹¹⁾에 따라 서울교통공사에서 주기적으로 유지보수를 하고 있음을 발주처 제출 서류에 대해 검토 확인하고 평가 적용대상에서 제외 하였다.

서울교통공사는 사고 차량이 내구연한(25년) 도래 전 지침과 기준에 따라 정밀진단과 평가를 적합하게 받아 절차상 이상 없는 상태에서 운행하였으나 주퓨즈, 단류기, 회로차단기와 고속도차단기의 편동선, 필터리액터 등에 대한 유지보수 상태가 적절하지 않은 상태에서 운행하고 있었음이 확인되었다.

2.4 열차통제 적정성 분석

사고열차가 잠실새내역 내선 승강장에 차량고장으로 정차 중 검수관제와 기관사간 응급조치 과정에서 06:30경 두 번째 차량 하부에서 불꽃과 연기가 발생된 이후 약 5분 동안의 열차 통제의 적정성을 분석하였다.

10) 사고 발생일 당시 24년 4월 사용 중 (철도안전법 적용)

11) 기술기준 12.3.2의 유지관리 기준에 따라 주기적으로 교환되거나, 유지보수 과정에서 수리 또는 교체되어 최적의 상태로 복원된 것으로 확인된 경우의 구성품은 적용 대상에서 제외한다.

차량 하부에서 연기 발생 시 [표 14]와 같이 내선 후속 열차(제2038호)는 2역 전인 잠실나루역에 정차 중이며 반대선 열차(제2013호)는 잠실새내역에 정차 후 출발하였다.

이후(06:32~06:36) 후속 열차(제2038호)는 1역 전(잠실)에 정차 대기, 그 다음 반대선 열차(제2015호)는 2역 운행 후 1역 전(종합운동장)에 정차 대기하도록 열차를 통제하였다.

구분	사고열차	후속 열차	반대선 열차		상황/관제 조치
	제2036열차	제2038열차	제2013열차	제2015열차	
06:30	잠실새내	잠실나루 (2역 전)	잠실새내 진입, 정차	-	연기 발생
06:31	잠실새내	잠실나루	잠실새내 출발	선릉 (3역 전)	열차 통제
06:32	잠실새내	잠실나루 → 잠실	-	선릉	열차 통제
06:33	잠실새내	잠실나루 → 잠실	-	선릉 → 삼성	열차 통제
06:34	잠실새내	잠실 (1역 전)	-	삼성 (2역 전)	열차 통제
06:35	잠실새내	잠실 (1역 전)	-	삼성 → 종합운동장	열차 통제
06:36 ~ 06:40	잠실새내	잠실 (1역 전)	-	종합운동장 (1역 전)	열차 통제 (정차 대기)

[표 14] 사고 당시 열차통제 분석표

서울교통공사 운전관제 『비상대응 현장 조치 매뉴얼』 제3장 유형별 매뉴얼 4(열차 화재(연기)사고)에는 ‘화재발생 열차는 최근 역까지 운행 및 후속·인접 열차는 운행 통제’하도록 규정하고 있다.

화재 발생 시 사고열차는 승강장내 정차 중이었으며 후속·반대선 열차는 운행 중이었으나 1역 전에 정차 대기하도록 통제된 것은 운전관제 『비상대응 현장 조치 매뉴얼』에 따른 적절한 열차통제로 조사되었다.

2.5 사고열차 승객 대피 적정성 분석

사고열차의 시간대별 승객의 대피 과정은 [표 15]와 같다. 사고열차 기관사는 차량 고장으로 인해 비상제동이 체결되어 정차 후 06:28경에 열차무선전화로 관제에 보고하였으며, 사고열차 차장은 06:29경에 차량고장에 따른 차내 대기 안내방송을 실시하였다. 06:30경 2번째 차량 하부에서 연기가 발생하자 승객들이 전동차 출입문과 승강장 안전문(PSD) 비상도어를 임의 개방하여 하차하였다.

사고열차 차장은 차량 화재 상황을 인지하고 06:31경 승객 대피 안내방송을 한 후, 8, 9호차 등에 있던 잔류 승객을 대피시켰으며(06:33) 역직원은 승강장내 승객을 대피(06:32) 시키며 소화전 호스를 준비하는 등 초기 화재진압에 집중하였다.

구 분	사고 열차	반대선 열차	비 고
	제2036열차	제2013열차	
06:27:30	승강장 진입		
06:27:42	순간 불꽃 발생(진입 중)		
06:27:49	비상제동 정차(1량 미진입)		차량고장 조치
06:29:10		승강장 진입	
06:29:46		전체 출입문 열림	
06:29:49	불꽃 발생(7초간)		
06:30:08	①승객 대피 : 2-4 PSD 비상도어 임의 개방		연기발생
06:30:26	②승객 대피 : 4-2 PSD 임의 개방		
06:30:31	③승객 대피 : 5-4 PSD 비상도어 임의 개방		
06:31:04		전체 출입문 닫힘	
06:31:14		열차 출발	
06:32:17	소방호스 준비(승객, 역직원)		
06:33:20	④승객 대피 : 9-4, 10-1 PSD 비상도어 개방		차장이 승객유도
06:34:20	승객 대피 완료		열차내→승강장
06:37:50	소방관 현장 도착·확인		

[표 15] 잠실새내역 CCTV 동영상 분석 결과

서울교통공사 운전관제 『비상대응 현장 조치매뉴얼』 제3장 유형별 매뉴얼 4(열차 화재(연기)사고)는 [표 16]과 같으며 열차 화재(연기)사고 발생 시 상황수보 후 H+5분 이내 승객 대피 유도 및 초기 화재진압을 하도록 규정하고 있다.

화재 발생 후 차장의 객실 안내방송 및 승객 대피유도, 역직원의 승객 대피 및 초기 진화 등이 상황 발생 후 약 4분 이내에 이루어져 『비상대응 현장 조치 매뉴얼』에 따른 적절한 응급조치로 조사되었다.

시 간	조치내용	조치자	비고
상황수보 ~ H+5분 이내	<ul style="list-style-type: none"> ○ 관제에 화재(연기)발생 신고 ○ 상황접수 (“○○역 전동차 화재(연기)발생” 복창, 2~3회) ○ 즉시 119신고 및 전 관제 상황 전파 - 현장상황 파악 후 소방차 출동여부 확인 및 119 재신고 ○ 후속 열차 역 진입통제 및 전열차 상황전파 ○ 복구 인력 및 복구장비 사고현장 출동지시 (검수, 시설관제) ○ 승무원, 역직원 출동 지시 - 승객 대피 유도 및 초기 화재진압 ○ 정거장 도착 후 승객유도 대피 지시 	승무원 운전관제 역직원 상황관제	열차 (연기) 화재발생 상황전파 초기 진압시도

[표 16] 열차 화재(연기)사고 매뉴얼(사고 전개 시나리오)

2.6 종합분석

사고열차가 강변역에 진입할 때 4호차 필터리액터로 눈이 유입되어 접지가 발생하여 과전류가 발생하였고, 이때 발생한 과전류는 전동차에 전력을 공급하는 인근 변전소에서 감지되어 전력이 차단되었으며, 전동차 고장 조치 후 접지가 발생한 4호차 유닛을 차단하고 2/3의 출력으로 강변역을 출발하였다.

사고열차가 지상구간을 운행하면서 유입된 눈으로 인해 사고열차가 잠실새내역을 진입할 때 1호차 필터리액터에도 접지가 발생하였으나 이때 발생한 사고전류의 크기는 전동차 고속도차단기가 차단되는 1,800A 이하였던 것으로 판단된다. 1,800A 이하의 전류에서는 인근 변전소의 차단 기능도 활성화되지 않아 변전소에서는 계속 급전을 하고 있었고 전동차를 사고전류로부터 보호해야 할 주퓨즈의 용단 시간은 1,800A 전류에서 6초 이상이어서 필터리액터, 회로차단기, 고속도차단기 등에서 접지에 의한 아크 및 화염이 지속적으로 발생하여 화재가 발생한 것으로 분석되었다.

3. 결론

3.1 조사결과

조사 중

3.2 사고원인

조사 중

4. 안전권고

조사 중

이 보고서는 사고조사 과정에서 관계인들로부터 청취한 진술 및 개인정보 등이 포함되어 있어,

『항공·철도사고조사에 관한 법률』 제28조(정보의 공개금지) 및 같은 법 시행령 제8조(공개할 수 있는 정보의 범위)에 의하여 이 보고서(인쇄본)에 개인정보는 공개하지 않았으며,

국민여러분의 이해를 돕기 위해 전문 철도용어를 쉽게 풀어서 쓴 점을 양해하여 주시기 바랍니다.

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.



항공·철도사고조사위원회

<http://www.araib.go.kr>

전화: 044-201-5427

E-mail: sajio0131@korea.kr