

철도사고조사보고서

서울교통공사

4호선

상계역 구내

제S4933전동열차(461편성,10량), K581전동열차(23편성,10량)

열차충돌(추돌)

2020년 6월 11일(목) 10시 43분경



2021. 8. 3.



항공·철도사고조사위원회

이 조사보고서는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제2조(정의)에 의거 사고조사가 이루어졌으며, 제25조(사고조사보고서의 작성 등)에 따라 작성되었다.

같은 법률 제1조(목적)에서 ‘철도사고 조사는 독립적이고 공정한 조사를 통하여 사고 원인을 정확하게 규명함으로써 철도사고의 예방과 안전 확보에 이바지함’을 목적으로 하고 있다.

또한, 제30조(다른 절차와의 분리)에 따라 ‘사고조사는 민·형사상 책임과 관련된 사법절차, 행정처분 절차 또는 행정쟁송절차와 분리·수행’되어야 하고,

제32조(불이익의 금지)에서 ‘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 레

제목	1
개요	2
1. 사실 정보	4
1.1 사고의 경위	4
1.2 피해사항	5
1.3 관계자 인적정보 및 업무수행사항	8
1.4 선로정보	14
1.5 차량정보	16
1.6 신호·전기정보	21
1.7 기상정보	24
2. 분석	25
2.1 업무수행사항 분석	25
2.2 선로분석	29
2.3 차량분석	29
2.4 신호분석	32
2.5 종합분석	34
3. 결론	35
3.1 조사결과	35
3.2 사고원인	38
4. 안전 권고	39
4.1 서울교통공사에 대하여	39

서울 4호선 상계역 구내 전동열차 충돌사고

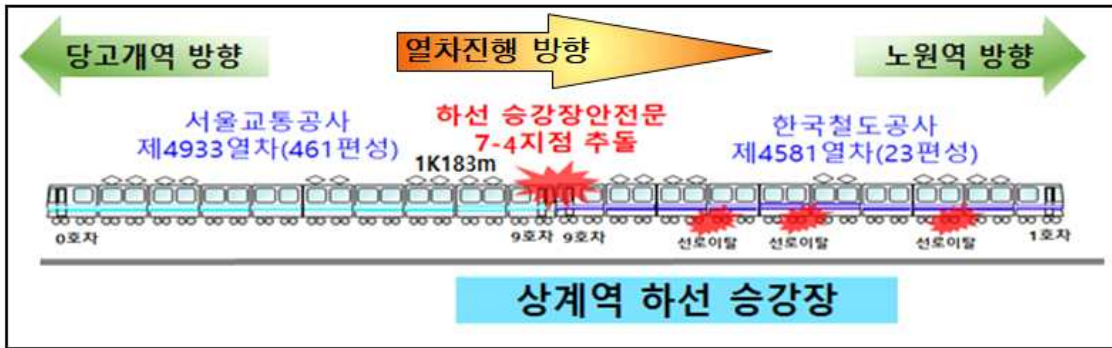
- 운영기관 : 서울교통공사
- 운행노선 : 4호선
- 발생장소 : 상계역구내 (당고개역 기점 1Km183m 지점)
- 사고열차 : 제S4933전동열차(서울교통공사 461편성,10량)
제K4581전동열차(한국철도공사 23편성,10량)
- 사고유형 : 열차충돌(추돌)
- 발생일시 : 2020년 6월 11일(목) 10시 43분경



[그림1] 상계역 구내 열차 충돌(추돌)사고 현장

개요

서울교통공사 4호선에서 창동차량기지(이하 ‘기지’라 한다)로 입고 중인 서울교통공사 제S4933열차(461편성·10량, 이하 ‘사고열차’라 한다)의 기관사(이하 ‘사고열차 기관사’라 한다)가 전도주시 및 정지신호 확인을 소홀히 하여, 상계역 구내에 정차 중인 한국철도공사 제K4581열차(23편성·10량, ‘철도공사열차’라 한다)를 추돌하여 [그림2]와 같이 철도공사열차의 차량 3량이 탈선하여 전동차 및 승강장안전문 등 시설물 피해가 발생하였으나 인명 피해는 없었다.



[그림2] 상계역 구내 열차 충돌사고 상황도

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도사고조사에 관한 법률」 제2조(정의) 및 제18조(사고조사의 개시)에 따라 사고조사를 실시하였다.

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 주원인을 ‘기관사가 전도주시를 소홀히 하고 차내신호 현시상태를 확인하지 않는 등 관계규정(운전취급규정 등)을 위반하여 운행하다가 철도공사열차를 추돌한 것’으로 결정하였다.

또한, 이번 사고의 기여요인을 ‘ATC 구간에서 무코드가 발생되었음에도 불구하고 ATC 차상장치의 15Km/h모드가 활성화되면서 자동 정차되지 못한 것, 15km/h스위치 기능에 대한 검사방법 및 기준을 정하지 않은 채 유지보수가 이루어진 것, 15km/h스위치 취급 관련 이상 현상에 대한 기관사들의 미보고 및 기록 누락으로 인해 유지보수 조치가 적기에 이루어지지 못한 것’으로 결정하였다.

이에 항공·철도 사고조사위원회는 서울교통공사에 4건의 안전권고를 발
행한다.

1. 사실정보

1.1 사고의 경위

2020년 6월 11일 10:37경 서울교통공사 4호선 당고개역 상선에서 사고열차 기관사가 관제사에게 입고보고 후 ATC 속도코드(40Km/h)가 수신되어 선로전환기(493A호, 493B호)를 통과하던 중 ADU¹⁾에 ATC‘STOP’이 현시되며 상용만제동이 체결되어 정차하였다.

정차 후 약 1~2초 후에 40Km/h 속도코드가 수신되어 운행을 재개하여 운행시 순간 무코드가 발생하여 상용만제동이 체결되었으나, 기관사가 확인 제동을 취급하여 완해하였다.

사고열차 기관사는 약 70~80m 전방에서 철도공사열차가 상계역을 출발하는 것을 확인한 후, 운전실 햇빛 가리개를 내리고 의자에 앉아 스트레칭을 하는 등의 행동으로 전도주시와 ADU 신호 현시상태를 확인을 하지 않았다.

이때 상계역을 출발하던 철도공사열차는 입고열차의 정차로 인해 무코드가 발생하여 상계역을 벗어나지 못하고 상계역 구내에 다시 정차하고 있는 상황이 되었다.

이후 사고열차가 철도공사열차에 접근함으로 인해 ATC 무코드가 발생하였으나 ATC 차상장치는 열차를 정차시키지 않고 15Km/h모드를 활성화시켜 사고열차의 진행을 허용하였다.

그러나 사고열차 기관사는 이러한 상황을 인식하지 못하였으며 스트레칭을 마치고 전방을 확인했을 때는 이미 약 10m 정도로 근접해 있었으므로, 제동을 취급하였으나 제동거리 부족으로 철도공사열차를 추돌하여, 철도공사열차의 3호차(전방 대차), 6호차(전방 대차), 7호차(전방 대차)가 탈선하였다.

1) ADU : ATC 지시속도와 실제속도 등을 기관사에게 알려주는 장치

1.2 피해 상황

1.2.1 인명 피해

이 사고로 인명 피해는 없었다.

1.2.2 물적 피해

1.2.2.1 시설 피해

승강장안전문 분야에서 승강장안전문설비의 하선 가동문(3-4, 8-4), 연단석 등이 파손되는 피해가 발생되었다.

1.2.2.2 차량 피해

철도공사열차는 대차탈선(3량) 및 연결기, 배장기, 운전실 출입문 등이 파손되었으며, 사고열차는 맨 앞 차량(이하 ‘사고차량’이라 한다)의 밀착연결기, 운전실 유리, 점퍼 커플러, 차체 외판, 우수관 등이 파손되는 피해가 발생되었다. 충돌 및 탈선사고 발생에 따른 차량의 피해 상황은 [그림3], 철도공사열차 탈선현황은 [그림4]와 같다.

1.2.2.3 기타 피해

영업 분야에서는 교통카드 반환 등 영업 손실이 있었다.

1.2.2.4 피해액

이번 사고로 인해 [표1]과 같이 약 320백만원의 피해가 발생 되었다.

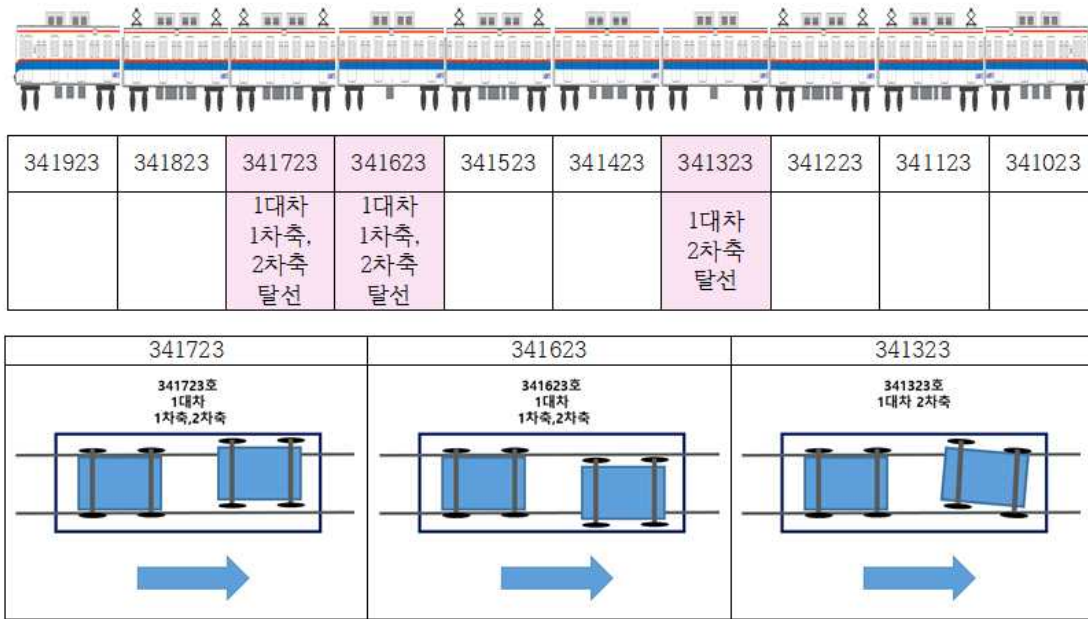
(단위 : 원)

구분	소 계	차량분야	승강장안전전문 분야	영업분야
합 계	319,940,600	301,435,700	18,000,000	504,900
서울교통공사	106,504,900	88,000,000	18,000,000	504,900
한국철도공사	213,435,700	213,435,700	-	-

[표1] 분야별 피해 금액



[그림3] 사고열차의 피해 상황



[그림4] 철도공사 열차 탈선 현황

1.3 관계자 인적정보 및 업무수행사항

1.3.1 기관사

기관사 000(55세, 남)는 1995년 12월 1일 서울교통공사(구, 서울메트로)에 입사하여, 동작승무사업소에서 사고당시까지 근무중이었으며 2009년 6월 1일 ‘제2종 전기철도차량운전면허’를 취득하여 운전업무에 적합한 자격을 보유하고 있었다.

사고발생 이전 행적은 6월 9일 06:55경 퇴근 후 휴무 및 휴일이라 집에서 휴식을 취하여 열차운전에 지장을 줄 행적은 없었다. 사고 당일 07:08경 출근하여 시행한 승무적합성검사 결과는 양호하였다.

사고열차 기관사는 당고개역 상선에서 입고하기 위해(10:37경) 제1종합관제센터 관제사에게 “신호·진로 좋다”고 입고 보고를 하였고, 관제사로부터 “신호·진로 확인되면 입고하라”는 지시를 받은 후 40Km/h 속도코드가 수신되어 사고열차를 출발시켰다.

사고열차가 출발하여 선로전환기(493A호, 493B호)를 통과하던 중 ATC ‘STOP’이 현시되며 상용만제동이 체결되어 정차하였으나, 약 1~2초 후에 다시 40Km/h 속도코드가 수신되어 운행을 하였으며 이후에도 순간 무코드가 발생하였으나 확인제동을 취급하여 제동을 완해시킨 후 운행을 계속하였다.

사고열차 기관사는 철도공사열차가 약 70~80m 전방에서 상계역을 출발하는 것을 확인한 후, 운전실로 들어오는 직사광선을 차단하기 위해 [그림5]와 같이 햇빛 가리개를 아래로 끝까지 내렸다.

햇빛 가리개를 내린 사고열차 기관사는 두 팔을 위로 올리고 고개를 아래로 숙이는 자세로 스트레칭을 실시하여 전방주시와 ADU를 확인할 수 없는

상태로 운행하였다.



[그림5] 햇빛 가리개가 끝까지 내려진 상태의 시야

이때 철도공사열차는 입고열차의 입고지연으로 인해 무코드가 발생하여 상계역 구내를 벗어나지 못하고 다시 정차해 있는 상황이었다.

사고열차 기관사가 스트레칭을 마치고 고개를 들었을 때는 이미 철도공사 열차와 간격이 약 10m 정도로 가까워져 있었으므로, 제동을 취급하였으나 제동거리 부족으로 철도공사열차를 충돌하였다.

사고열차 기관사가 사고발생 이전 열차운행 중에 전도주시에 집중하지 못한 또 다른 사유가 있는지를 확인하기 위해 기관사 본인의 동의를 얻어 소속에서 제출받은 [표2]의 개인 이동전화 통화내역을 확인하였다.

SK Telecom												
통 화 내 역												
일시 : 2020/06/12 11:23:51												
NO	구분	통화 발신일시	SMS 수신시간	통화시간	상대전화번호	사용량 (KB/MB당)	통사료요금	할인요금	할인후요금	통화내용	비고	내선요금 유형
1	국내통화 통화	2020/06/11 10:44:55		00:25		28.0	50.40	50.40	0.00	SKT 고객간 음성 통화		FD voice 통 화(FD)
소계						28.0(0/0)	50.40	50.40	0.00			
합계						28.0(0/0)	50.40	50.40	0.00			

[표2] 사고열차 기관사 개인 이동전화 통화 내역

제출된 통화기록을 확인한 결과 사고발생 이전에 통화한 기록은 없었으며, 사고발생 후(10:44:55) 기관사 본인의 소속 팀장에게 사고와 관련된 내용으로 통화한 사실을 확인하였다.

1.3.2 관제센터 관계자(관제부장, 관제사)

제1종합관제센터 관제2팀 관제부장 000(50세, 남)은 1993년 11월 13일 서울 교통공사에 입사하였으며, 관제사 근무는 2007년 1월 1일부터 근무하였으며, 2018년 12월 24일 3호선 운전관제부장으로 발령받아 현재까지 근무하고 있으며 2017년 11월 23일 관제사 자격을 취득하였다.

관제부장과 관제 A탁, 관제 B탁 근무 관제사들도 모두 관제사 자격을 취득하여 적법하게 관제업무를 수행하고 있었으며, 사고발생일 이전의 행적은 근무 주기가 4조 2교대 형태로서 야근-비번-휴무일 후 출근하였으며, 코로나로 인해 외출을 하지 않고 집에서 휴양관리를 취하여 관제업무수행에 지장을 줄 만한 사유는 없었다.

사고 당일 4호선 구간의 열차운행을 정리·통제한 관제부장 등 관제사들의 진술을 종합하면 다음과 같다.

사고 당시의 열차운행 현황은 최고 혼잡시간대가 지난 약간 복잡한 시간대였고 창동·노원·상계·당고개 구간은 본선열차와 입·출고열차가 혼용하는 선로로서 입고열차가 입고하는 과정에서 상선 열차가 밀집되어 있었다.

사고열차가 당고개역을 출발하여 선로전환기를 지난 시점에서는 당고개역~상계역간 거리가 1.2Km 이며 하선은 서행 30Km/h 구간이고 철도공사열차는 이미 상계역 하선에 도착해 있었고, 후속 사고열차는 서행구간을 지나야 하기 때문에 열차 간격은 충분히 유지될 것으로 판단하였다.

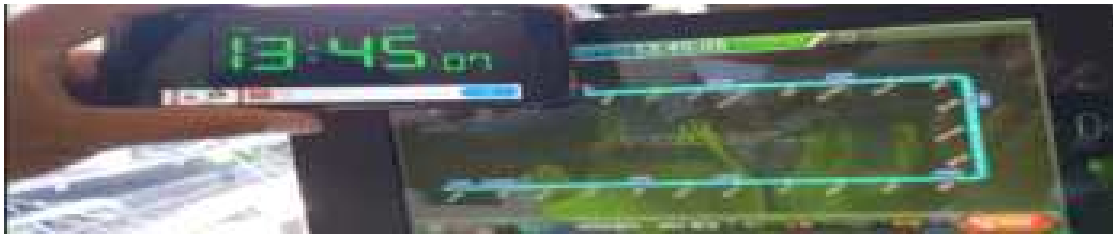
당고개역 상·하선 착발 시행 중에 상계역 승강장구내에는 철도공사열차가 정차한 상태에서 입고열차인 사고열차가 뒤 따라가는 상황이었으므로, 만약 상계역 승강장에 정차해 있던 철도공사열차가 출발을 못할 경우라도 후속 사고열차는 ATC에 의해 당연히 정차할 것으로 판단하였다.

사고당일 추돌을 당한 열차와 사고열차의 운행간격이 가까워진 것을 확인하지 못한 것은 통제구간인 당고개역 구간뿐만 아니라 사당역 구간까지 광범위하게 감시 통제하고 있었으므로 입고열차인 사고열차에 대해서만 집중할 수 없었다.

1.3.3 기록정보

1.3.3.1 사고열차의 운행기록

사고열차(461편성)의 시간이 [그림6]과 같이 표준시간 대비 1초 늦어 보정하였다.

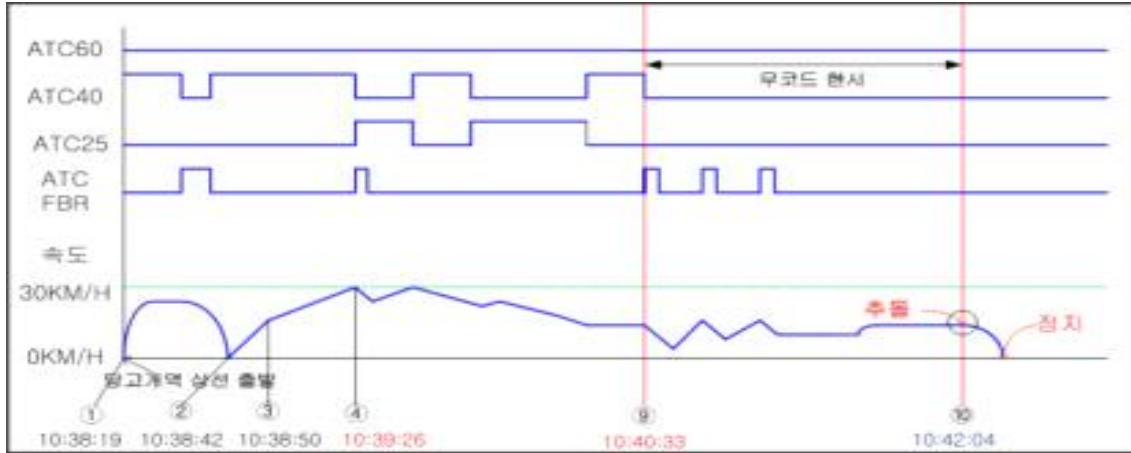


[그림6] 표준시간 대비

사고열차의 속도코드 변화와 열차운행기록은 [표3], [그림7]과 같다.

번호	시간	속도코드	주행속도	운행기록	비고
①	10:38:19	40	약 25Km/h이하	당고개역 출발	
②	10:38:42	무코드	0	무코드에 의한 정차	
③	10:38:50	40	약 25Km/h이하	40Km/h코드 수신하여 진행	
④	10:39:26	무코드	"	순간 무코드 발생	기관사 확인제동
⑤	10:39:27	25	15Km/h 이하	15Km/h 이하로 속도 조절 운행	주간제어기로 14% 역행 (pwm 14%)
⑥	10:39:39	25,40	"		
⑦	10:39:50	40,25	"		
⑧	10:40:19	24,40	"		
⑨	10:40:33	무코드	"	무코드 발생, 15Km/h모드 활성화	자동활성화
⑩	10:42:04	15Km/h 모드	"	제동취급 하였으나 추돌	추돌

[표3] 속도코드 변화



[그림7] 열차운행기록

[그림7의] 열차운행기록을 살펴보면 ① (10:38:19) 당고개역에서 약 14%의 동력운전(力行)으로 상선에서 하선으로 선로전환기를 지나 출발 후 ② (10:38:42) ATC 무코드에 의해 정차하였고 ③ (10:38:50) 열차가 정차한 후 정상적인 속도코드(40Km/h)를 수신하여 하선 당고개역 방향으로 운행하였다.

④ (10:39:26) 상계역에 정차되어있는 선행 철도공사열차로 인해 사고열차에 무코드가 발생하여 상용만제동이 체결되었으나, 기관사 확인 제동 및 완해조치로 운행 중 앞에 정차되어 있는 철도공사열차에 접근으로 인해 ⑤ (10:40:33) 약 14%의 동력운전(力行)중 무코드가 발생하였으나 15Km/h모드가 자동으로 활성화되어 15Km/h 이하의 속도로 앞에 정차해 있는 철도공사열차 쪽으로 계속 운행되었다.

⑥ (10:42:04) 기관사가 정차해 있는 열차를 발견하고 제동을 취급하였으나 제동거리 부족으로 철도공사열차를 충돌하여 그 충격으로 3량이 탈선한 것으로 분석되었다.

1.3.3.2 열차무선기록

[표4]와 같이 관제사, 기관사 및 관계자간 무전기 녹취록을 확인한 결과

10:37경 기관사는 당고개역에서 관제사에게 신호·진로 좋다고 입고 보고를 하자 관제사는 신호·진로 확인되면 입고하도록 지시하였다.

10:39경부터 10:41경까지 관제사는 입고열차들이 본선열차를 지장함에 따라 입고열차 기관사들에게 서둘러 달라고 지시하면서 본선열차 기관사들에게 열차 간격조정을 위한 추가 정차 및 차내 안내방송을 지시하였다.

10:42경 철도공사열차 차장(車掌)은 관제사를 호출하여 “입고열차가 상계에서 못가고 있는데, 와서 박았어요.”라며 열차 충돌 상황을 보고하였다.

10:42경 관제사는 사고열차 기관사에게 “탈선된 거 있나요? 내려가서 보세요.”라고 통보하자 사고열차 기관사는 “앞에 충돌했습니다. 앞차 탈선했습니다.”라고 열차 충돌과 탈선 사실을 보고하였다.

시 간	관제사	사고열차 기관사	충돌열차 차장
10:37:56		신호진로 좋습니다. 입고하겠습니다.	
	예. 4933 신호진로 확인되시면 입고하십시오.		
10:39:08	입고열차는 입고를 서둘러 주십시오. 본선 열차가 많이 지장받고 있습니다.		
10:39:31	입고열차 4931열차는 열차 조금만 더 이동시켜주십시오. 4929열차는 서둘러 입고해주십시오.		
10:40:40	후속열차가 많이 지연되고 있습니다. 4575열차는 서울역, 숙대 1분씩 더 추가 정차해주십시오. 동대문 4577열차도 동대문에서 1분반 정차입니다.		
10:41:12	입고열차 4929열차 관제이상! 입고열차 4929열차 관제이상! 차장나오세요. 관제이상!		
10:41:40	당고개에서 노원까지 하선열차는 안내방송 잘 해주세요.		
10:42:15			관제 나오세요. 4581열차 차장 이상!
	관제이상!		
			입고열차가 상계에서 못가고 있는데, 와서 박았어요.
10:42:38	입고열차 4933열차 관제이상!		
		예. 4933열차 이상!	
	탈선된거 있나요? 내려가서 보세요.		
		앞에 충돌했습니다. 앞차 탈선했습니다.	

[표4] 열차무선 녹취록

1.3.3.3 CCTV 녹화 영상

[그림8]에서 보듯이 상계역 하선 승강장에 설치된 CCTV 녹화 영상을 확인한 결과 철도공사열차는 출발 후 약 3량(60m) 정도 운행한 뒤 정차하였고, 약 1분 뒤 사고열차가 철도공사열차 후부를 추돌하였다.



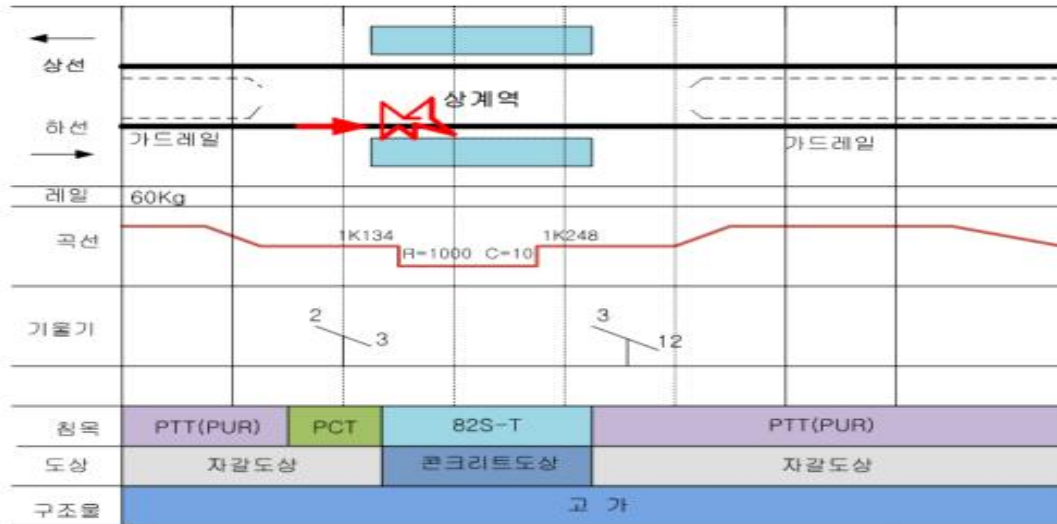
[그림8] 상계역 승강장 CCTV 화면

1.4 선로정보

1.4.1 사고현장 정보

사고 현장은 [그림9]와 같이 상계역 구내로 진입하는 구간으로서 추돌지점 (당고개역 기점 1.183km)은 곡선반경(R)은 1,000m이고, 선로의 기울기는 없는 구간이었다.

사고 구간의 선로선형은 열차 진행방향 우곡선으로 곡선반경(R) 1,000m, 길이 114m이었고, 슬랙²⁾을 설치하지 않은 곡선으로서 설정 캔트³⁾는 10mm이었으며, 선로는 콘크리트 도상 궤도 구조로서 60kg 레일이 설치되어 있었다.



[그림9] 탈선현장의 선형약도

1.4.2 사고구간 선로 유지보수 현황

「선로검사내규」⁴⁾ 제6조(궤도검측차점검)에 의거하여 본선 궤도틀림검사는 궤도 검측차를 이용하여 본선 전구간에 대하여 년 4회 점검하도록 되어 있었으며, 이 내규에 따라 궤도틀림검사를 시행하고 있었다.

선로에 대한 도보 순회점검은 「선로검사내규」 제21조에 따라 점검하도록 되어 있었으며, 사고가 발생한 선로에 대하여 이 내규에 따라 도보 순회를 시행(6회, 2020년 1월 1일~2020년 6월 11일)하고 있었다.

2) 슬랙(Slack) : 차량이 곡선부를 원활하게 통과하도록 하기 위하여 바깥쪽 레일을 기준으로 궤간을 안쪽으로 확대하는 것

3) 캔트(Cant) : 차량이 곡선부를 원활하게 통과하도록 하기 위하여 안쪽레일을 기준으로 바깥쪽 레일을 높게 부설하는 것

4) 선로검사내규 : 서울교통공사, 2018. 4.19. 개정 제62호

1.4.3 궤도 정비 현황

「선로정비규정」⁵⁾ 제2장(궤도정비기준)에 궤간, 먼들림, 줄들림, 평면성틀림의 정비기준은 [표5]과 같이 정하고 있었다.

(괄호는 정적치수⁶⁾임)

구 분	궤간	먼들림	줄들림	평면성틀림
정비기준 ⁷⁾	중 14mm(10mm) 감 4mm(2mm)초과시	15mm(9mm) 초과시	15mm(9mm) 초과시	15mm 초과시
유지기준 ⁸⁾	중 14mm(10mm) 감 4mm(2mm)이내	15mm(9mm) 이내	15mm(9mm) 이내	15mm이내
시공기준 ⁹⁾ (정비목표)	중 6mm(4mm) 감 3mm(2mm)이내	7mm(5mm) 이내	7mm(5mm) 이내	9mm이내

[표5] 궤도정비 기준 요약

「선로검사내규」 제2장(궤도보수검사)에 궤도틀림검사(궤도검측차검사, 인력검사), 레일간격검사, 그 밖의 선로일반검사로 구분하여 궤도보수를 시행하고 있었다.

1.5 차량 정보

1.5.1 사고열차의 조성

사고열차는 1993년 10월 (주)로템(구, 현대정공)에서 직류(1,500V) 및 교류(25kV, 60Hz) 구간을 운행할 수 있는 직·교류 겸용으로 제작되었으며, 열차의 전체 길이(10량/편성)는 약 200m이며 사고열차의 조성은 [표6]과 같다. 사고열차는 10량 1편성으로 당고개역에서 상계역 방향으로 운행 중이었다.


5) 선로정비규정 : 서울교통공사, 2018. 4.19. 개정 제125호

6) “정적치수”는 인력 측정검사 기준을 말한다.

7) “정비기준”이란 유지기준치를 초과한 것으로서 보수작업을 시행하여야 하는 상태를 말한다.

8) “유지기준”이란 정비기준치에 도달하지 않은 양호한 궤도상태를 말한다.

9) “시공기준(정비목표)”이란 궤도부설공사, 개량공사 및 보수공사의 검사 기준치를 말한다.

상계											당고개
차 호	4961	4861	4761	4661	4561	4461	4361	4261	4161	4061	10량
차 종	Tc2	M	M	T1	T2	M	T1	M	M	Tc1	5M5T
중 량	33.1톤	41.2톤	41.2톤	26.5톤	32.0톤	41.2톤	26.5톤	41.2톤	41.2톤	33.1톤	공차

[표6] 사고열차의 조성현황

1.5.2 사고열차 주요제원

사고열차는 서울교통공사 4호선을 운행하고 있는 ‘VVVF 인버터 제어¹⁰⁾ 방식 전기동차’로서 사고 당시까지 총 누적 주행키로는 3,715,144km이며, 주요제원 및 성능은 [표7]과 같다.

구 분		주 요 제 원		
차량형식		통근형 전기동차		
차량제작사		현대로템(주), (구. 현대정공)		
차량도입		1993년 10월		
일반	최고속도(설계)	100km/h(110km/h)		
	편 성	5M5T		
	열차치수	차체 길이(L)	20,000mm(연결면간 길이 포함)	
		차량 폭(W)	3,120mm	
지붕 높이(H)		4,500mm(팬터그래프 접은 높이)		
차체 재질		STS 301L		
주요 장치	전차선전압	정 격	직류(1,500V) 및 교류(25kV 60Hz)	
	팬터그래프	압상력	6kgf	
		작동압력	5kg/cm ²	
	견인전동기	형식	3상 농형 유도전동기	
		정격출력(연속)	230kw(200kw)	
	주전력제어		VVVF 인버터 제어방식	
	보조전원장치(SIV)		150KVA	
	제동장치		전기지령식 옹하중제어 공기제동(회생제동 병용)	
신호장치		ATC ¹¹⁾ /ATS ¹²⁾		
대차	대차종류	공기스프링식 볼스터리스 대차		
	고정축간거리	2,100mm		
	동력전달방식	기어형 평행 카르단식		
기타	중량(공차)	제어차(Tc)	33.1ton	
		부수차(T1)	26.5ton	
		구동차(M)	41.2ton	
		부수차(T2)	32.0ton	

[표7] 사고열차의 제원 및 성능

- 10) 인버터제어(VVVF) : 교류견인전동기에 공급되는 전압과 주파수를 조절하여 견인전동기 속도를 제어하는 방식
- 11) ATC : 자동열차제어방식(Automatic Train Control System)으로서 지상 궤도회로를 통해 차상에서 수신받은 정보(속도코드, 선로 정보)를 바탕으로 열차의 속도를 제어하는 장치
- 12) ATS : 자동열차정지장치(Automatic Train Stop)로서 지상 신호를 검지하여 열차 제한속도를 설정 및 제동하는 장치

1.5.3 검수정보

사고열차인 ‘VVVF 인버터 전기동차’의 종별 검수주기 및 검수내역은 [표 8], [표9]와 같고, 검수종별 주행거리 및 회기 한도를 초과한 사례는 없었다.

검 수 종 류		주행거리(km)	회기한도
일상검사(3D)		-	3일
월상검사(3M)		50,000	3개월
중정비	중간(3Y)	500,000	3년
	전반(6Y)	1,000,000	6년

[표8] 사고열차 검수주기

신조도입	경정비		중정비		검사장소
	일상검사(3D)	월상검사(3M)	중간검사(3Y)	전반검사(6Y)	
1993.10.8.	‘20.06.04 ‘20.06.07 ‘20.06.10	‘19.10.28 ‘20.01.22 ‘20.04.07	‘15.12.30	‘12.08.14. ‘18.07.23.	일상·월상 : 창동 중정비 : 지축

[표9] 사고열차 종별 검수 이력

1.5.3.1 경정비

사고열차는 서울교통공사 「4호선 VVVF 전동차 검사 시행예규」(이하 ‘시행예규’라 한다)에 따라 사고 전날인 2020년 6월 10일 일상검사(3D)를 시행하였고, 2020년 4월 7일 월상검사(3M)를 시행한 후 사고 당시까지 31,006km를 주행하였다.

사고열차는 4호선 ‘시행예규’ 제11조(ATC/ATS 장치)에 따라 시행한 2020년 6월 10일 일상검사(3D) 및 2020년 4월 7일 월상검사(3M) 시행 결과는 [표10] 및 [표11]과 같다.

검 사 내 용	결 과	비 고
ADU 현시 및 표시등 점등상태	○	각종 표시등 현시 및 외관 상태점검 위주로 시행
ATC 함 외관상태(고정)	○	
픽업코일, 속도발전기 외관 및 취부상태	○	
ATCCOS 상태	○	

[표10] ATC 일상검사 내용 및 결과

검 사 내 용	결 과	비 고
ADU 현시 및 표시등 점등상태	○	각종 표시등 현시 등 상태 검사 이외에 15km/h 관련 ‘정지 및 진행검지’ 표시 검사 시행
ATC 함 외관상태(고정)	○	
픽업코일, 속도발전기 외관 및 취부상태	○	
ATCCOS 상태	○	
⋮		
정지 및 진행검지 표시상태	○	

[표11] ATC 월상검사 결과

1.5.3.2 중정비

사고열차의 사고 직전 중정비¹³⁾(전반검사)는 ‘시행예규’에 따라 2018년 7월 23일 완료하였고, 사고 발생 당일까지 245,812km를 주행하였다.

2018년 7월 23일 시행한 전반검사 항목 중 ATC장치 15km/h모드 관련하여 시운전선에서 시행한 ‘정지 및 진행모드’기능시험 결과는 [표12]와 같다.

검 사 내 용	결 과	비 고
과속지령 검지 및 표시시험	○	
비상제동 검지 및 타이밍 시험	○	
상응속도 지령 검지 및 표시시험	○	
시험기에 의한 PCB 기능시험	○	
운전실 신호수신, 제동확인 시험	○	
전원, 레일전류/수신기 감도시험	○	
진행, 정지 지령 및 표시시험	○	
YARD MODE 환원시험	○	

[표12] ATC 전반검사(기능시험) 결과

13) 중정비 : 차량 전반에 대한 분해, 부품교체 등 종합적인 성능확보를 위한 정비

1.5.4. ATC 차상신호장치

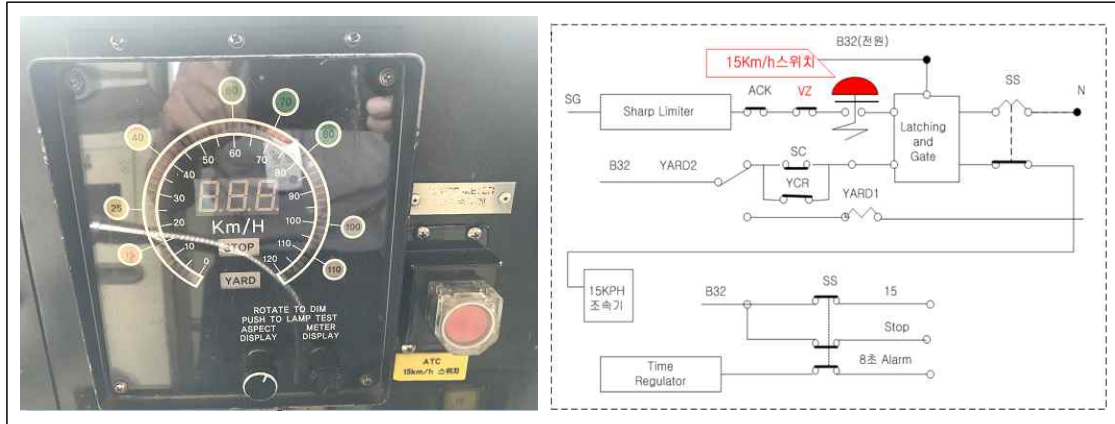
1.5.4.1 정지 및 진행 모드

서울교통공사 4호선 당고개역~남태령역(31.7km) 및 한국철도공사 과천선 남태령역~금정역(14.4km) 구간을 운행하는 서울교통공사 4호선 전체 운행 전동차(47편성)에는 ATC 차상신호장치가 설치되어 있고, 한국철도공사 지상구간인 금정역~오이도역까지 운행하는 직·교류 겸용 전동차(21편성)에는 ATS가 추가된 ATC/ATS 차상신호장치가 설치되어 있다.

4호선 상계역은 ATC 운행구간이며, 당초 ‘정지 및 진행모드’ 기능은 무코드 발생을 인지한 기관사의 제동 또는 ATC에 의한 제동으로 열차가 정지된 후 자동적으로 15km/h모드가 활성화되어 정지한 열차가 제한속도 이하로 계속 운행이 가능하였다.

1.5.4.2 ATC 차상신호장치 회로개선

2013년 8월 31일(토) 한국철도공사 경부선 대구역에서 출발 대기 중인 무궁화 열차가 인접선 KTX 출발신호를 무궁화열차 신호로 오인하여 KTX 열차와 충돌한 사고가 발생한 후, 자동으로 15km/h 진행속도가 현시되는 문제점에 대한 개선방안으로 4호선 47개 전체 편성에 대해 ‘기관사 확인 장치(15km/h스위치)’를 추가하는 회로개선사업(2016년 10월 10일~11월 24일)을 [그림10]과 같이 시행하였다.



[그림10] 4호선 ATC 회로개선 (15km/h스위치 추가 설치)

회로개선의 목적은 ATC 무코드시에 정차한 열차가 기관사의 확인 후 15km/h모드가 활성화되도록 하여 안전성을 확보토록 하는 것이었다.

1.5.4.3 ATC 15Km/h모드 자동 활성화 사례

사고발생 이후 서울교통공사 승무본부에서 항공·철도사고조사위원회에 제출한 자료에 의하면, 사고발생 다음날인 2020년 6월 12일부터 6월 25일까지(14일간) 기관사들로부터 보고된 ATC 차상장치 15Km/h모드 자동 활성화 사례는 다음과 같았다.

4호선 전동차 47개 편성¹⁴⁾ 중 43개 편성이 보고기간 중 운행하였으며, 운행된 43개 편성 중 65%인 28개 편성에서 ATC 무코드 상태에서 15Km/h모드가 자동으로 활성화되는 현상이 확인되었다.

1.6 신호 및 전기정보

1.6.1 신호정보

사고구간의 신호설비는 [표13]과 같이 당고개역은 DB형 전자연동장치, 상계역은 PLC형 연동장치¹⁵⁾, 복선 차상신호, 궤도회로는 분기부 PF방식, 그

14) 4호선 47개 편성 : 직류전용전동차 26개 편성, 직·교류 겸용전동차 21개 편성

외 AF방식, ATC 장치로 구성되어 있다.

설비구분	연동장치	선로전환기	폐색방식	궤도회로	열차제어
사용방식	DB전자연동 2013년 PLC 2008년	NS-AM형 2015년	자동폐색 차상신호 1985년	분기부·기지 PF 그외 AF, 2003~2007년	ATC 장치 1985년

[표13] 사고구간 신호설비 구성

상계역 궤도회로장치의 동작을 기록한 상계역 PLC 장치는 [그림11]과 같이 표준시간 보다 3분 42초 느리게 기록하는 것으로 나타나 표준시간으로 보정하였다.



상계역 PLC장치 시간보정 : 표준시간 대비 3분42초 느림

[그림11] 상계역 PLC 장치 표준시간 비교

상계역 PLC장치 10:38:49~10:41:44까지 기록에는 [그림12] ①~④에 보이는 것과 같이 사고열차와 철도공사열차는 당고개역을 출발하여 상계역으로 운행하면서 진로는 양호한 상태였다.

15) PLC(programmable logic controller)연동장치 : 선로전환기가 설치되지 않은 역에 ATC장치 제어를 위해 설치한 연동장치



① 10:38:49 철도공사열차(K4581) S-108 궤도회로 점유(상계역 진입)

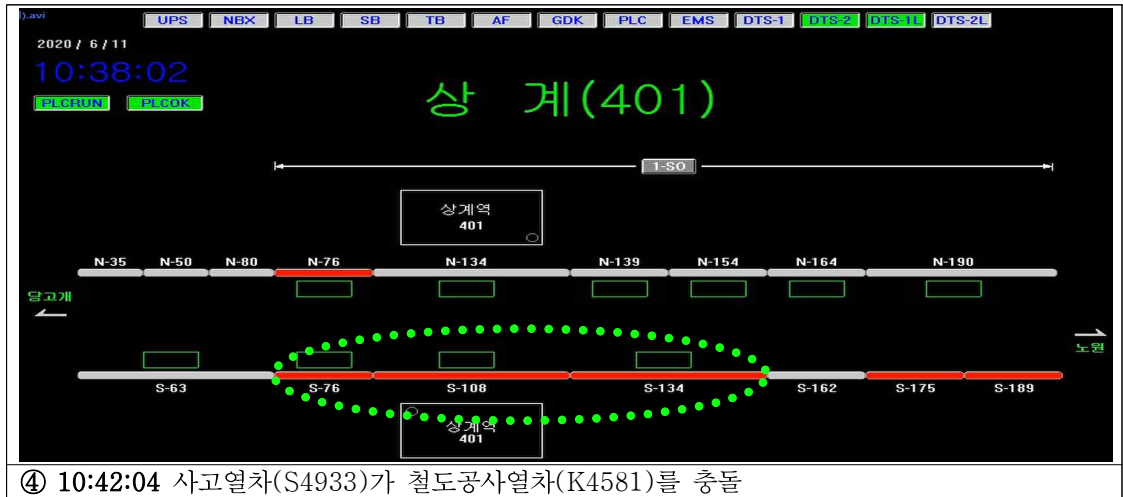


② 10:40:14 철도공사열차(K4581) S-134 궤도회로 점유(상계역 출발)



③ 10:40:27 사고열차(S4933) S-76 궤도회로 점유(상계역 전방 진입)

철도공사열차(K4581) 선행열차로 정차 중



[그림12] 당고개역~상계역 간 철도공사열차 및 사고열차 운행기록

1.6.2 전차선 정보

사고구간은 복선 전철구간으로 DC 1,500V 방식으로 설치·운영되고 있었으며, 사고와 관련된 이벤트 기록은 없는 것으로 확인되었다.

1.7 기상 정보

사고당일 서울의 평균기온은 25℃ 습도는 87% 새벽의 강수량은 5mm였으나, 사고 발생 시간대에는 비가 내리지 않았으며 열차의 충돌사고에 영향을 끼치지 않았다.

2. 분석

2.1 업무수행사항 분석

2.1.1 기관사

사고열차 기관사는 열차운전중의 주의 의무를 위반하여, 햇빛 가리개를 아래로 내리고 의자에 앉아 고개를 숙이고 스트레칭으로 차내신호 현시 상태와 전방 진로를 주시하지 않는 것은 [표14]의 「운전취급규정」 제13조에서 정하는 ‘열차운전중의 주의’ 의무를 위반한 것임으로 열차 운전중에는 관련규정을 준수하여 운전업무에 집중할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

운전취급규정

제13조(열차운전중의 주의) : ① 기관사는 운전 중 **신호와 진로 및 열차의 상태에 유의** 하여 불측의 사고에 대비하여야 한다.

[표14] 운전취급규정 제13조

사고열차 기관사는 차내신호 현시상태를 확인하지 않은 것은 [표15]의 「운전취급규정」 제131조에서 정하는 차내신호기에 정지신호가 현시될 경우의 조치사항을 위반한 행위로서 열차 운전중에는 신호현시 상태를 수시로 확인하는 등 관련규정을 준수하여 운전업무에 집중할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

운전취급규정

제131조(상용폐색방식 시행구간에서 정지신호가 현시되었을 경우) ① 기관사는 자동폐색신호 또는 차내신호기에 정지신호가 현시된 경우 열차를 즉시 정차시킨 후 운전관제에게 보고하고 그 지시를 받아야 한다.

[표15] 운전취급규정 제131조

사고열차 기관사는 [표16]의 「운전관계직원업무내규」 제29조에서 정하는 신호에 대한 지적확인환호를 하지 않음으로 인해, 사고열차가 철도공사열차에 접근하면서 ATC 무코드가 발생하였지만 사고열차의 ATC 차상장치가 열차를 정차시키지 않고 15Km/h모드를 활성화시켜 15Km/h 이하의 속도로 운행되고 있었으나, 그 사실을 알 수 없었으므로 지적확인환호를 반드시 이행해야 할 것으로 분석되었다.

운전관계직원업무내규
 제29조(지적확인환호 적용대상) ① 운전관계직원은 직무수행 시 운전업무 취급부주의 방지를 위하여 다음 각 호의 사항에 대하여 지적확인 환호를 하여야 한다.
 1. 기관사 : 승무 중 신호, 전호, 운전관계표지, 기기취급 또는 차량점검 시 **주요한 사항을 확인** 및 기기를 수동취급 할 때

[표16] 운전관계직원업무내규 제29조

사고열차 기관사는 [표17]의 「전동차승무원업무예규」 제67조를 위반하였다. ATC 무코드 발생시는 ATC가 열차를 자동으로 정차시키거나, 기관사가 무코드 확인시에는 업무예규에 따라 열차를 정차시킨 후 관제의 승인을 받아 15Km/h스위치를 취급한 후 일어서서 15Km/h 이하의 속도로 앞 열차 후방 50m까지 주의운전 해야 할 것으로 분석되었다.

전동차승무원 업무예규
 제67조 (정지신호구간의 확인운전 및 기기취급) 3. ATC설비구간에서는 차내신호기의 정지신호(이하 “0모드”라 한다) 현시시 일단 정차하여 운전관제에 승인을 받은 후 짧은 기적을 1회 울리며 일어서서 15km/h이하의 속도로 다음 폐색경계표지 전방 또는 앞 열차 후방 50m까지 주의운전 하여야 한다.

[표17] 전동차승무원업무예규 제67조

또한 사고열차 기관사는 사고열차가 철도공사열차에 가까이 가면 ATC가 열차를 정차시킬 것으로 예상하는 등 ATC에 의지하여 운행하였으며, ATC의 15Km/h모드 활성화시에는 자동정차가 되지 않는 것에 대한 이해가 부족

했던 것으로 분석되었다.

사고열차 기관사는 15Km/h모드 자동 활성화 사례가 있다는 것을 동료로부터 들었다고 하였으나, 조사결과 자동 활성화 사실을 기록관리 하거나 유지보수 소속에 통보한 기록이 나타나지 않은 것으로 보아, 15Km/h모드 자동 활성화가 초래할 위험성을 사전에 인지하지 못하였으며, 운행 중 차량 고장 등 이상 발견 시 체계적인 기록 및 보고가 이루어져야 할 것으로 분석되었다.

2.1.2 관제사

서울교통공사의 「운전취급규정」(제45조)에서는 “운전관제는 열차의 운행 상황을 TTC¹⁶⁾ 집중표시반에 의해 계속 감시하여야 한다”고 정하고 있으며, 「관제업무내규」(제4조)에서는 “열차를 정상으로 운전하기 위한 일상의 운전정리, 철도사고 및 운행장애 사항에 대한 상황과악, 구원열차의 운전등 기타 필요한 조치, 열차운전에 필요한 사항의 지시, 열차운행종합제어장치 제어반의 취급” 등을 하도록 정하고 있었다.

이번 사고에서 관제사들의 면담 결과와 무선 녹취록 등을 분석해 본 결과 관제사들이 취한 조치에서 관련규정을 위반한 점을 찾을 수 없었다.

서울교통공사에서는 열차종합제어장치에 의한 자동운행 스케줄로 열차를 운영하고 있었으며, 이벤트가 발생할 경우에 관제사의 지시에 의해 처리하는 시스템으로 운영하고 있는 것으로 조사되었다.

또한 관제사들은 관제시스템과 ATC 시스템의 신뢰성에 대해 확신을 가지고 관제업무를 하고 있었으며, 고밀도 열차운행에서 관제시스템과 ATC 시스템의 신뢰성은 관제업무의 기반이 되고 있는 것으로 분석되었다.

하지만 고밀도 운전 구간인 당고개역~상계역 구간 등은 입·출고 시간대

16) TTC(Total Traffic Control system) : 열차운행종합제어장치, 열차운행계획을 미리 제어용 컴퓨터에 입력하여 진로 및 신호 등을 자동으로 제어하는 장치

에 근무시간 조정 등을 통해 관제사를 추가 지원하거나 열차 밀집이 일어날 경우 경고음을 발생시키는 등의 인적·시스템적 보완조치가 필요한 것으로 분석되었다.

2.1.3 15Km/h스위치 취급 미승인 특례구간 운영

서울교통공사는 「전동차승무원업무예규」 제110조에 근거하여 ‘관제승인 없이 15Km/h스위치 취급이 가능한 특례구간’을 1~4호선 일부 구간에서 [표 18]과 같이 운영하고 있었다.

<p>전동차승무원 업무예규</p> <p>제110조(특수구간에 대한 ATS 및 ATC 운전취급) 정거장 구내에서 안전 여유거리 부족으로 안전을 확보 또는 ATS 및 ATC의 기능을 확인하기 위하여 ATS R0 또는 ATC “0”모드를 현시하는 다음 각 호의 구간은 운전관제의 승인 없이도 운전할 수 있다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 도림천역에서 신도림역 3,4번선 도착시 ATS 지상자를 지나 소정의 정지위치까지 운전할 경우 2. 차량기지내 ATS의 기능시험 설비 개소를 지나 운전할 경우 3. 1,2호선 유치선 또는 인상선에 과주 방지용 ATS R0지상자가 설치된 지점을 지나 정지위치까지 운전할 경우 4. 3,4호선 ATC구간 유치선 또는 인상선에서 “0”모드 구간을 지나 정지위치까지 운전하는 경우
--

[표18] 전동차승무원업무예규 제110조

이로 인해 기관사들이 15Km/h스위치 취급 승인요청 사유 발생시에도 규정을 지키지 않는 관행을 만들었고, 15Km/h모드 관련 이상 현상이 발생하더라도 기록 및 보고를 하지 않아 차량 유지보수 시 조치가 이루어질 수 없어 사고발생의 잠재적 요인으로 작용한 것으로 판단되며, 이에 따른 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

참고로 사고 이후 서울교통공사는 「전동차승무원업무예규」 제110조(특수구간에 대한 ATS 및 ATC 운전취급)를 ‘15Km/h스위치 취급에 대하여 관제의 승인을 받도록 개정(2021년 1월 6일)’ 한 것을 확인하였다.

2.2 선로분석

2.2.1 선로 유지관리의 적정성

서울교통공사 「선로정비규정」 및 「선로검사내규」에 의거하여 선로유지 보수 및 궤도 정비를 시행하고 있었으며, 선로상태가 이번 사고에 영향을 미치지 않은 것으로 분석되었다.

2.3 차량분석

2.3.1 경정비 적정성

전동차의 검수이력을 조사한 결과 검수 주기 위반 등은 발견되지 않았다. 그러나, 4호선 전체 편성에 15Km/h스위치 추가 설치를 위한 ATC 회로개선 사업 완료(2016년 11월 24일) 이후에도 [표11]의 월상검사 내용과 같이 15Km/h스위치 기능 및 특성을 반영하지 않은 유지 보수가 이루어지고 있었다.

만약 추가 설치된 15Km/h스위치 기능 및 특성을 반영한 점검항목 및 점검기준을 마련하여 유지보수를 시행했을 경우 15Km/h스위치 이상 현상을 사전에 조치하여 이번 열차사고를 예방할 수 있었을 것으로 분석되었다.

2.3.2 중정비 적정성

[표12] 전반검사의 ATC 기능시험 내용 및 결과에서 보듯이 월상검사와 마찬가지로 15Km/h 관련 기능시험인 ‘진행, 정지 지령 및 표시시험’항목이 스위치 설치 이전과 동일하게 시행되고 있어 사고 당시까지 15Km/h스위치 신호전달 오류를 인식하지 못하여 아무런 조치가 없었다.

ATC 회로개선과 같이 운영 중 이루어진 설비 추가 및 개선 등 변경사항

발생시 적합한 검사항목 및 시험기준을 마련하여 유지보수가 이루어져야 할 것으로 분석되었다.

2.3.3 장애원인

ATC 회로개선 전·후 ‘정지 및 진행 모드’ 동작회로 및 절차는 [그림13]과 같다.

구분	< 개선 전 >	< 개선 후 >
회로		
동작절차 (무코드)	<ul style="list-style-type: none"> ① ATC 속도코드 무코드시 b접점 on ② 기관사 제동(a1) 및 열차 정차(a2) ③ 'b' and '(a1+a2)' 성립 시 SS 계전기 동작하여 15km/h 속도 현시 ④ 지상에서 정상 속도코드 수신시 b접점 off 및 15km/h(SS) 소자 	<ul style="list-style-type: none"> ① ATC 속도코드 무코드시 b접점 on ② 기관사 제동(a1) 및 열차 정차(a2), 후 기관사 15km/h sw 취급 ③ 'b' and '(a1+a2+a3)' 성립시 SS 계전기 동작하여 15km/h 속도 현시 ④ 지상에서 정상 속도코드 수신시 b접점 off 및 15km/h(SS) 소자

[그림13] ATC 회로 개선 전·후 비교

서울교통공사 자체조사 및 ATC 제작공급사(Ansaldo社) 질의를 통해 입력(a1, a2, a3, b) 및 출력(c) 신호를 처리하는 입출력 신호보드(Latching and gate) 장치의 구성부품인 PCB¹⁷⁾의 노후화로 기관사의 15Km/h스위치 취급이 없을 때에도 15km/h모드를 자동으로 출력하는 것으로 분석되었다.

PCB의 경우 관련기준¹⁸⁾에 따른 기대수명을 정하지 않고 불량 발생할 경우 서울교통공사 자체에서 수선 또는 재생하여 계속 사용하고 있었으나, 운

17) PCB(Printed Circuit Board) : 반도체, 커넥터, 저항기, 다이오드, 커패시터, 통신 칩 등이 집적된 회로 기판으로 전자장치의 구성품

18) 철도안전관리체계 제3장(유지관리체계), 12.3.4(노후 철도차량 및 철도시설)에 따라 차상신호장치 및 구성품에 대해 제작사 권고·유지보수 실적 분석을 통해 교체주기를 정하도록 하고 있음.

행 안정성 확보를 위해 중요한 PCB에 대해서는 기대수명(교체주기)을 정하고, 기대수명에 도래한 PCB에 대한 재생 후 계속 사용여부를 판단을 위한 절차 마련이 필요한 것으로 조사되었다.

2.3.4. 개조 관련 법령

철도차량을 최초 제작 당시와 다르게 구조, 부품, 장치 또는 차량성능 등에 대한 개량 및 변경이 이루어질 경우 2017년 10월 24일 신설된 관련법¹⁹⁾에 따라 국토교통부장관에게 개조승인 또는 개조신고를 받도록 하고 있으나, 사고열차 ATC 회로개선은 2016년 11월 24일에 이루어져 승인 및 신고 대상은 아닌 것으로 확인되었다. 또한 철도안전법 제38조2(철도차량의 개조 등) 제2항에 따른 개조된 철도차량의 ‘철도차량의 기술기준’ 적합 여부도 관련 조항 신설 이전에 ATC 회로개선이 이루어져 적용대상이 아닌 것으로 분석되었다.

2.3.5 ATC 차상장치 기능 재연시험

ATC 차상장치가 자동으로 15Km/h모드를 활성화했다는 추정을 검증하기 위해 항공·철도 사고조사위원회, 서울교통공사, 서울시가 합동으로 [표19]와 같이 재연시험을 실시하였다.

사고 열차의 운행기록장치에는 15Km/h스위치 취급 기록 기능이 없었다.

19) 관련법 : 철도안전법 제38조의2(철도차량의 개조 등) 및 동법 시행규칙 제75조의3(철도차량 개조승인의 신청 등)과 제75조의4(철도차량의 경미한 개조)

시험목적	ATC 차상장치가 무코드시 자동으로 15Km/h모드를 설정하는지를 검증
일 시	2020. 6. 27(토). 00:00 ~ 02:30
장 소	4호선 당고개역 ~ 상계역
시험편성	461편성(사고차량), 467편성(동일차종)
참 석 자	항공철도조사위원회 조사관 3명, 서울시 2명, 교통공사 25명
시험결과	정지신호시 15Km/h모드 자동 활성화 된 이후 열차는 정지하지 않고 사고 당시 열차운행기록과 동일 패턴으로 운행됨이 확인되었음

[표19] 재연시험 개요 및 결과

재연시험으로 확인된 결과는 [표20]과 같이 461편성은 4회 중 2회, 467편성은 3회 중 1회가 사고 발생시와 동일한 현상으로 재현되었다.

시험차량	시험결과	비고
461편성 (사고차량)	○ ATC 정상동작(열차 정차) - ATC에 의한 제동체결(ADU 현시, 경고 부저음) - 정차 후 기관사 확인제동 및 15km/h스위치 취급 후 운행	2회
	○ 15코드 자동 활성화(계속 운행) - ATC에 의한 제동체결(ADU 현시, 경고 부저음) - 정차 전 기관사 확인제동 후 계속운행	2회
467편성 (동일차종)	○ ATC 정상동작(열차 정차)	2회
	○ 15코드 자동 활성화(계속 운행)	1회

[표20] 차량별 시험 결과

사고당시 무코드 상태에서 사고열차가 정차하지도 않았고 기관사가 15Km/h스위치를 조작하지 않았음에도 ATC 차상장치가 자동으로 15Km/h모드를 활성화시켜 열차가 계속 진행될 수 있었던 것으로 분석되었다.

2.4 신호 분석

2.4.1 신호정보

사고열차와 관련하여 2020년 6월 11일 10:30~10:42분까지 당고개역 전차 연동장치와 상계역 PLC 장치, 관제센터, 열차운행정보장치에 남아있는

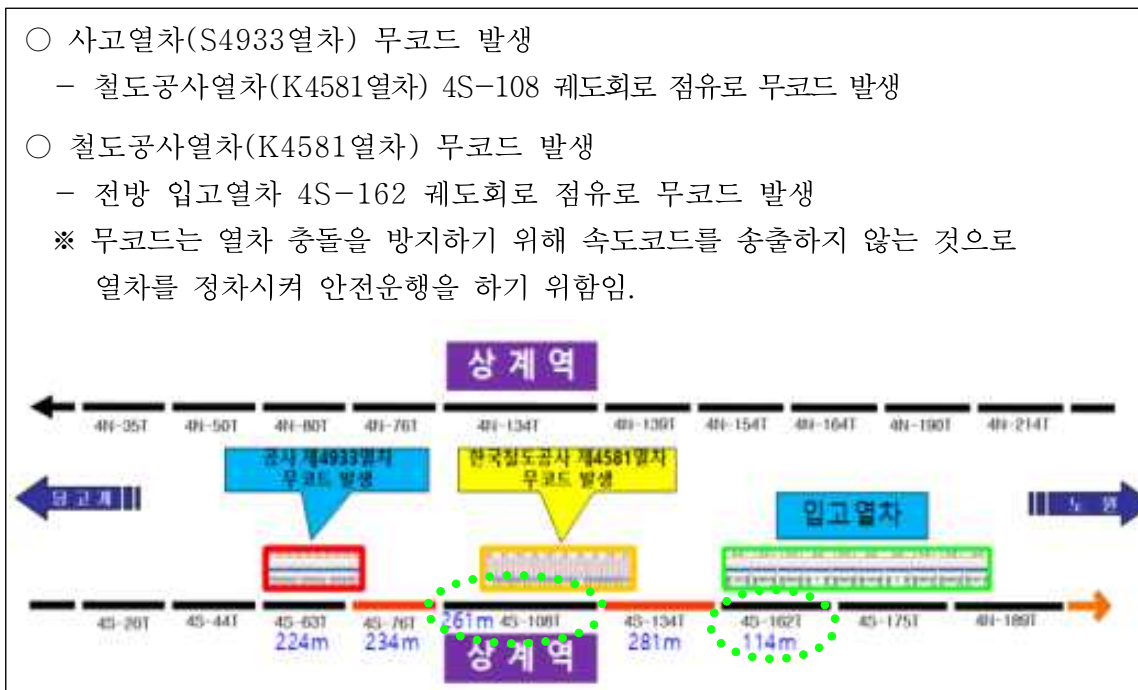
신호 동작기록과 CCTV 영상기록, 열차운행기록 등을 비교분석한 결과, 사고열차는 무코드(0km/h)가 발생하였으나 정지하지 않고 계속 운행하여 철도공사열차를 추돌한 것으로 분석되었다.

2.4.2 무코드 발생 원인

4호선 ATC장치에서 무코드가 발생하는 조건은 열차가 운행하는 방향의 앞쪽 궤도회로 내에 선행하는 열차가 있을 때는 속도코드를 송출하지 않아 무코드가 발생하며 이때 후속 열차는 정차하도록 되어 있었다.

철도공사열차가 상계역 진출 시 무코드가 발생한 원인은 [그림14]와 같이 상계역을 출발한 후 전방 4S-162 궤도회로 구간에 입고열차가 궤도회로를 점유하고 있어 무코드가 발생하여 정차되었다.

사고열차 또한 앞 차인 철도공사열차가 4S-108 궤도회로구간(상계역 승강장)에 정차하고 있어 무코드가 발생한 것으로 분석되었다.



[그림14] 사고 당시 ATC 무코드 발생 상황

2.5 종합분석

사고열차 기관사는 「운전취급규정」 제13조(열차운전중의 주의 의무), 제131조(차내신호기에 정지신호가 현시된 경우의 조치), 「운전관계직원 업무내규」 제29조(지적확인환호), 「전동차승무원 업무예규」 제67조(정지신호구간의 확인운전 및 기기취급)를 위반하여 차내신호 확인과 전도주시를 소홀히 하여, 사고열차가 철도공사열차에 접근할 때 ATC 무코드가 발생되었으나 확인하지 못하고 사고열차를 정차시키지 못한 것으로 분석되었다.

사고열차의 ATC 차상장치는 무코드 발생 상태에서 열차를 정차시키지 않고 자동으로 15Km/h모드가 활성화되어 운행을 허용하였다.

4호선 차량에 15Km/h스위치를 설치한 이후 이에 대한 점검 항목 및 점검기준을 마련하지 않은 채 유지보수가 이루어져, 사고 당시까지 ‘15Km/h스위치 신호전달 오류’를 인식하지 못한 채 운영되고 있어 ATC 15Km/h스위치 추가 등 변경사항에 적합한 검사항목 및 기준을 마련하여 유지보수가 이루어져야 할 것으로 조사되었다.

사고발생 이후 해당 승무사업소에서 확인한 결과, 전동차 43개 편성 중 65%인 28개 편성이 ATC 무코드 상태에서 15Km/h모드가 자동으로 활성화되는 현상이 확인되었으나, 사고 발생 이전에는 기관사들이 이러한 현상을 기록하거나 보고한 사실이 없었던 것으로 조사되었으며,

이러한 현상이 발생한 원인으로는 1~4호선 일부 구간에 ‘관제승인 없이 15Km/h스위치를 취급할 수 있는 특례구간’ 운영이 규정을 지키지 않는 관행을 만들었으며, 15Km/h모드 관련 이상 현상이 발생해도 기록 및 보고를 하지 않아 유지보수가 이루어질 수 없어 이에 대한 개선이 필요한 것으로 분석되었다.

3. 결론

3.1 조사결과

3.1.1 사고열차 기관사는 10:37경 당고개역 상선 승강장에서 관제사에게 ‘신호·진로 좋다’고 입고보고 후 정상적으로 당고개역을 출발하여 상계역으로 운행 중 철도공사열차가 상계역을 출발하는 것을 확인하고 직사광선을 차단하기 위해 햇빛 가리개를 내리고 운행하였다.

3.1.2 상계역을 출발한 철도공사열차는 앞 입고열차의 지연으로 인해 다시 상계역에 정차하였다. 이로 인해 사고열차는 무코드가 발생하였으나 ATC 차상장치에 의해 15Km/h모드가 자동으로 활성화되어 정차되지 않았다.

3.1.3 사고열차 기관사가 햇빛 가리개를 내리고, 고개를 숙이거나 두 팔을 올리는 스트레칭으로 철도공사열차 및 차내신호기의 15Km/h모드 현시 상태를 확인하지 못한 것은 ‘운전취급규정 제13조(열차운전중의 주의)’ 및 ‘운전관계직원업무내규(제3장 지적확인환호)’를 이행하지 않은 것으로 조사되었다.

3.1.4 사고열차는 15Km/h모드가 자동으로 활성화되어 15Km/h 이하 속도로 계속 진행하고 있었으나 기관사가 앞 열차에 가까이 가면 ATC에 의해 정차할 것이라 판단했더라도, 차내신호기에 정지신호가 현시된 경우 열차를 즉시 정차시킨 후 운전관제에게 보고하고 그 지시를 받지 않은 것은 운전취급규정 제131조(상용폐색방식 시행구간에서 정지신호가 현시되었을 경우), 전동차승무원 업무예규 제67조(정지신호구간의 확인 운전 및 기기취급) 등을 준수하지 않은 것으로 분석되었다.

3.1.5 사고열차 기관사가 스트레칭을 마치고 전방을 확인하였을 때는, 사고열차가 앞 열차에 너무 근접되어 제동을 취급하였으나 제동거리 부족

으로 철도공사열차를 추돌한 것으로 조사되었다.

3.1.6 사고차량은 열차운행 안정성 확보를 위해 무코드 시 자동으로 활성화 되는 ATC ‘정지 및 진행 모드’ 기능을 ‘기관사 확인’ 취급 후 15km/h 속도가 현시되도록 회로를 개선하였으나, ‘시행예규’에 개선사항을 반영하지 않은 채 개선 전과 동일하게 유지보수를 시행하고 있었던 것으로 확인되어 설비 개선 등 변경사항 발생시 이에 적합한 유지보수 항목 및 기준 마련이 필요한 것으로 분석되었다.

3.1.7 사고차량은 15km/h모드 관련 ‘입·출력신호장치(Latching and Gate)’ 구성부품인 PCB의 노후화로 15km/h모드를 자동으로 출력하는 것으로 조사되었으며, 이는 PCB에 대한 교체주기를 정하지 않고, 불량 발생 시 재생 후 계속 사용하거나, 재생이 불가능할 경우 폐기하고 있어 운행안전성 확보에 중요한 주요 PCB에 대해서는 기대수명(교체주기)을 정할 관리할 필요가 있는 것으로 분석되었다.

3.1.8 사고열차와 관련하여 2020년 6월 11일 10:30~10:41까지 당고개 전 자연동장치와 상계 PLC장치, 관제센터, 열차운행기록장치에 남아있는 신호동작 기록을 확인한 결과, 사고열차는 무코드(0km/h)가 발생하였으나 정차하지 않고 계속 운행하여 앞 열차를 추돌한 것으로 조사되었다.

3.1.9 철도공사열차는 상계역을 출발한 후 전방 4S-162 궤도회로 구간에 입고열차가 궤도회로를 점유하고 있어 무코드가 발생하여 정차되었고, 사고열차는 철도공사열차가 상계역 4S-108 궤도회로구간을 점유하고 있어 무코드가 발생하였으나 ATC 차상장치에 의해 정차되지 않았으며, 사고열차기 관사는 사고열차의 ATC 차상장치에서 자동으로 15km/h모드 동작명령이 발생하였지만 확인하지 못하고 운행한 것으로 분석되었다.

3.1.10 항공·철도사고조사위원회는 서울교통공사와 서울시 관계자가 임회한 가운데 사고구간에서 사고차량(461편성) 및 동일차종(467편성) 2개 편성에 대해 ‘15Km/h모드 자동 활성화’ 재연시험을 한 결과, ‘461편성

은 4회 중 2회’, ‘467편성은 3회 중 1회’가 무코드 시 15Km/h스위치를 취급하지 않았음에도 자동으로 15Km/h모드가 활성화되어 계속 운행이 가능했던 것으로 확인되었다.

3.1.11 이번 사고 발생 이전에도 ‘15Km/h모드 자동 활성화’ 사례들이 있었으나 보고나 기록이 없었던 것은 ‘15Km/h스위치 취급 관제 미승인 특례 구간’을 관행적으로 운영해 온 결과로 조사되었다.

3.1.12 사고구간의 궤도 정비에 있어서 궤간, 면틀림, 줄틀림, 수평틀림, 평면성 틀림 검측 결과, 모든 항목이 정비기준 이내에 있어 이번 사고에 영향을 미치지 않은 것으로 확인되었다.

3.1.13 종합관제센터는 혼잡시간대의 당고개역~상계역구간을 근무시간 조정 등을 통해 열차감시업무를 강화하거나 경고음을 발생시키는 등의 인적·시스템적 보완이 필요한 것으로 분석되었다.

3.2 사고원인

항공·철도사고조사위원회는 이번 사고의 주원인을 ‘기관사가 전도주시를 소홀히 하고 차내신호 현시상태를 확인하지 않는 등 관계규정(운전취급규정 등)을 위반하여 운행하다가 철도공사열차를 추돌한 것’으로 결정하였다.

또한, 이번 사고의 기여요인을 ‘ATC 구간에서 무코드가 발생되었음에도 불구하고 ATC 차상장치의 15Km/h모드가 활성화되면서 자동 정차되지 못한 것, 15km/h스위치 기능에 대한 검사방법 및 기준을 정하지 않은 채 유지보수가 이루어진 것, 15km/h스위치 취급 관련 이상 현상에 대한 기관사들의 미보고 및 기록 누락으로 인해 유지보수 조치가 적기에 이루어지지 못한 것’으로 결정하였다.

4. 안전권고

항공·철도사고조사위원회는 「항공·철도 사고조사에 관한 법률」 제26조(안전권고 등)에 따라 2020년 6월 11일 서울 4호선 상계역 구내에서 발생한 전동열차 충돌(추돌) 사고에 대하여 다음과 같이 권고한다.

4.1 서울교통공사에 대하여

4.1.1 기관사가 신호·진로에 대한 주시 및 정지신호가 현시된 경우 운전관련규정을 철저히 준수할 수 있도록 각 소속별 실정에 맞는 이론과 실무를 병행하여 실질적인 교육훈련을 시행할 것

4.1.2 열차 운행 중 차량, 신호, 시설물 등 이상 발견시 다음 사항을 관계규정에 따라 준수하고 시행 할 것

- ATC '15Km/h스위치' 취급시 승인 내용 및 차량·신호·시설물 등 이상 발견시 보고 및 기록 후 관계부서에 통보하여 조치할 것

4.1.3 열차 운행 중 정지신호가 현시될 경우 차내신호 15Km/h모드가 자동으로 활성화되지 않도록 개선할 것

- ATC 회로개선과 같이 운영 중 이루어진 설비 개선 등 변경사항에 적합한 검사항목 및 기준이 '관련규정'에 반영되어 유지보수가 이루어질 수 있도록 할 것
- ATC 장치 등 주요 전장품 구성부품인 PCB의 기대수명(교체주기)을 정하고, 기대수명에 도달한 노후 PCB의 계속사용(재생)을 위한 판단 기준 등 관련 절차를 마련토록 할 것

4.1.4 종합관제센터는 고밀도 운전구간(당고개역~상계역 등)의 혼잡 시간대 근무시간 조정 등을 통해 관제사를 추가 지원하거나, 열차 밀집이 일어날 경우 경고음을 발생시키는 등의 인적·시스템적으로 보완할 것

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

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

국민 여러분의 이해를 돕기 위해 전문 철도 용어를 쉽게 풀어서 쓴 점을 양해하여 주시기 바랍니다.

자세한 사항은 항공·철도사고조사위원회로 문의하여 주시기 바랍니다.



항공·철도사고조사위원회

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

전화: 044-201-5430

E-mail: lym240my@korea.kr