



철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술개발



정우성 >>
한국철도기술연구원 책임연구원



이덕희 >>
한국철도기술연구원 선임연구원



장용준 >>
한국철도기술연구원 선임연구원

1. 서론

철도는 에너지효율성이 높으며, 정시성, 안전성 등이 보장되는 교통수단으로 현대사회의 대중교통 문제를 해결할 수 있는 최적의 대안으로 평가받아 왔다. 그러나 그동안 우리나라 철도는 화재 사고에 대한 대비는 매우 미흡한 상태였으며, 결국 2003년 대구 지하철 사고와 같은 대형 참사의 기록을 지니게 되었

다. 대구 지하철 사고 이후 정부는 철도차량 내장재 재료안전기준을 개정하고, 철도안전법을 정비하였으며 3년여 동안 6천여억 원의 규모에 이르는 차량내장재 교체사업을 진행하는 등 철도 화재사고 재발 방지를 위한 종합대책을 마련하고 이와 더불어 철도종합안전기술개발 연구 사업을 추진하여 철도분야 안전관리의 체계를 체계적으로 정비하고 지원기술을 확보하고자 노력하고 있다.

본고에서는 철도종합안전기술개발사업의 중대사고 분야 중 하나인 화재사고 분야에 대한 추진 배경과 기존 연구동향 및 사업의 범위와 기대효과 등에 대하여 소개하고자 한다.

2. 철도화재 사고 사례와 분석

표 1과 표 2에는 그동안 국내외에서 발생했던 주요 화재사고를 정리하였다. 화재사고의 통계를 조사하여 보면 작업자들의 실수로 작업장에서 발생작업자의 실수에 의한 사고가 많았고 다음으로 차량이나 공조시스템의 기계적 결함이나 과열 및 전기장치 고장으로 인한 사고가 많았다. 화재원인 측면에서 최근의 화재 사고는 인위적인 방화와 같은 반달리즘이 원인인 사례가 늘어나는 경향을 보여 주었다. 홍콩의 지하철 방화나 2005년 지하철 7호선 철산-온수역 방화사고

의 경우는 방화가 발생 가능성이 희박하거나 대응이 불가능한 영역의 사고가 아니라 사회적인 관리체계 내의 합리적 대응이 필요한 빈도가 될 수 있음을 확인시켜 주는 사례가 되었다.

대형 화재사고가 발생한 경우는 초기 화원이 커서 화재가 급속히 확대되었거나, 화재가 충분히 성장할 때까지 발견되지 못한 경우에 해당하였으며 이와 더불어 대피방향 및 안내를 적절히 하지 못한 경우와 같이 인적오류가 복합적으로 작용하고 있음을 확인하였다. 대구지하철 사고의 경우도 차량내장재가 전혀 화재에 저항성을 갖지 못한 상태였다는 점과 화재지역으로 추가 차량의 진입을 차단하지 못하였고, 피난 안내를 조기에 수행하지 못한 사고대응의 오류가 심각하게 지적된 복합적인 대응오류 사례로 꼽히고 있다.

3. 철도화재 안전확보를 위한 국내외 연구 동향

대형 철도화재사고 기록을 가진 국가일수록 엄격한 안전관리 체계를 가지고 있다. 영국의 경우 1987년 킹스크로스 화재사고를 계기로 세계적으로 가장 엄격한 차량화재안전기준을 운영하여 왔으며, 전후 사쿠라기초 역에서의 목조차량화재, 영단 지하철 히비야선의 차량화재사고, 호쿠리쿠 터널 화재사고 등의 기록을 가지고 있는 일본의 경우에도 우리나라에 비하여 엄격한 화재기준을 적용하고 있었다.

우리보다 앞선 안전관리를 해왔던 안전 선진국은 철도분야의 화재안전 관리방법은 정해진 설계기준이나 내장재 난연기준 등을 정량치로 제시하고 이에 맞

표 1 세계 각국의 철도화재 사례

년 도	국 가	역사/터널 명	사고 원인	피해 상황
1969	일본	JR 대청수터널	용접불꽃	사망 16명
1969	미국	허드슨강 하저터널	차량 주저항기 과열에 의한 출화	차량 소손, 사망 1명, 부상 8명
1969	프랑스	국유철터널	탱크열차와 화물열차 충돌	탱크열차, 화물열차 전소, 사망 2명
1972	일본	북류터널	식당차 누전	식당차 전소, 차량 1대 손실, 사망 30명, 부상 714명
1976	영국	Finsbury Park	전기누전	25명 부상
1978	스페인	콘고치나스 터널	탱크열차 폭발	열차 전소, 사망 7명(60시간 이상 연소)
1979	미국	펜실바니아 필라델피아	트랜스 합선	부상자 178명
1979	미국	샌프란시스코만 해저터널	차량회로차단기의 고장으로 출화	차량 5량 전소, 차량 1량 케이블 소손, 사망 1명, 부상 10명
1980	독일	함부르크 아루토나역	침입자에 의한 방화	-
1981	영국	Goodge Street역	사고원인 불명	플랫폼이 3m정도 전소, 1명 사망, 15명 부상
1983	영국	Holborn역	에스컬레이터에서 발화	(1985년에 같은 장소에서 화재발생)
1983	일본	나고야	변전실의 콘덴서에서 발화	사망 2명, 부상자 5명
1984	영국	Oxford Circus역	창고에서 발화	지하 3층의 140 m 붕괴, 터널 3 마일 소실, 12명 부상
1987	영국	킹스 크로스 지하철역	목재 에스컬레이터에서 발화	사망 31, 부상 50여명
1988	일본	동대판선 생구터널	송전케이블 출화	사망 1명, 부상 57명, 전기개폐소, 케이블 소손
1995	아제르바이잔	Baku	고압선에서 발화	340여명 사망, 270여명 부상
2001	독일	베를린 Deutsche Opera역	열차 2량에서 발화	열차 1량 전소, 40여명 부상

표 2. 국내화재 사고 사례

년 도	지 역	역 사 명	사 고 원 인	피 해 상 황
1994	경산	경산시 옥곡동	우편 열차칸 천정에서 불	차량소실
1996	서울	을지로4가역	용접작업	경미
1997	서울	시청역	본선배수펌프장 합선 및 누전	17분의 여객 중단, 역사 정전
1997	서울	동대문역	전력케이블 소손	케이블 보수
1998	서울	시청역	전기고장	무정차 통과
1999	서울	신림역과 신대방역 사이, 교각 아래부분	재활용품 집하장 화재	교각 및 코킹현치부 열변상
1999	서울	청량리역	환기구내 화재	연동외장 등 교체
1999	서울	동작역	화재	동작역 가건물 전소, 8분간 열차 지연
2000	서울	동대문운동장역	배기환기구 화재(용접작업)	즉시 조치
2001	서울	고속터미널역	전기실 화재(원인불명)	배전반 설비 교체
2001	서울	문래역	승강장 옆 창고 전기 누전	인명피해 없으나 창고내 가구 부분 연소
2001	서울	신당역	대합실 화재(용접작업)	대합실 천정 일부 연소
2001	서울	지축역에서 구파발역 사이	교각하부 화재(원인불명)	교각 부분손상
2003	대구	중앙로역	인화물질에 의한 방화	사망 192명, 부상 148명, 객차 16량 소실 외
2004	왜관	경부선 왜관역 구내	배기가스 불꽃이 기관 공기여과 기에 인화된 것으로 추정	-
2004	대전	호남선 서대전-가수원역간	KTX 열차 후부동력차의 동력실 모터블럭 밑바닥에 떨어진 면장갑에 담뱃불이 인화	-
2005	서울	지하철 7호선 철산역	인화물질에 의한 방화	사망 0, 부상 1, 차량 3량 전소
2005	서울	서울역(지하철)	지하철 1호선 서울역 팽'하는 소리와 함께 배전판 불꽃이 튀고 연기가 피어오른 뒤 고장	-
2005	서울	노원역	지하철 7호선 노원역에서 배전판에서 화재 발생	-
2005	서울	영등포역(철도)	남원행 무궁화호의 7호와 8호 객차를 연결부위 전원 차단기의 과부하로 전기합선	-
2005	대전	대전조차장(철도)	차량검수시설 정비 받던 새마을호 열차 전기합선	10055호 객차 1량 내장재 일부 소실
2006	부산	경성대, 부경대 역 (지하철)	전동차의 4호열차 외부집전장치 에서 불꽃이 튀면서 연기가 발생	승강장 승객 대피, 부상 1
2006	서울	한양대 역	지하철 2호선 2098호 전동차 주차단기 함	화재승객 150여명대피

는 설계 및 시공을 하도록 하는 것이었다. 그러나 이러한 방법은 주로 재료적 특성을 규정하는 단계에서 관리되므로 구조화된 시설이나 완성된 철도차량 등의 안전성을 충분히 보장할 수 없다는 지적을 받고 있다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 최근에는 성능적 평가 기법에 기반 한 화재 모델해석, 실물 화재시험 검증 등의 엔지니어링 기법이 시도되고 있다.

우리나라의 경우 철도안전 분야의 연구는 불과 5~6년에 지나지 않으며 철도화재의 경우도 다르지 않다고 하겠다. 그래도 짧은 연구 역사에 비하면 그동안의 몇몇 특징적인 연구 성과로는 2000년부터 3년간 산자부의 지원으로 추진된 ‘불연성 복합 내장재 개발 사업’은 그 성공적 수행으로, 대구지하철 화재 사고 이후에 조속한 내장재 개조 사업을 추진할 수 있는 기반을 마련한 사례라고 하겠다. 한국철도기술 연구원은 이 과업을 통하여 해외 화재안전기준을 조사하고 국제적인 화재안전 평가 체계에 맞춰 평가 설비를 도입하게 되었다(그림 1).

대구화재사고 이후 건교부의 지원으로 추진된 ‘도시철도시스템의 안전방재 능력향상 연구’는 차량 및 시설분야 안전대책을 제시하였고, 이 사업을 통하여 2003년 12월에 개정된 도시철도차량안전기준에 관한 규격의 화재안전기준 초안이 마련되었으며 국내 7개 도시철도 운영기관의 내장재 사용현황 및 난연성은 데이터가 확보되었다.

철도차량의 경우 내장재 교체사업의 진행 시점과

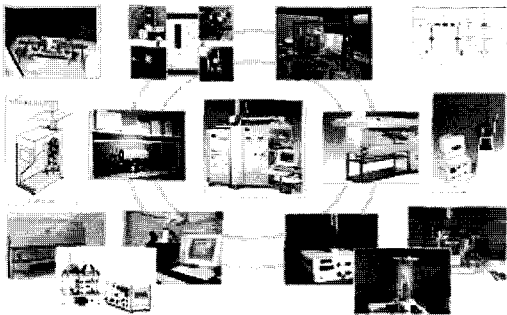


그림 1. 철도차량 내장재 화재특성 평가설비

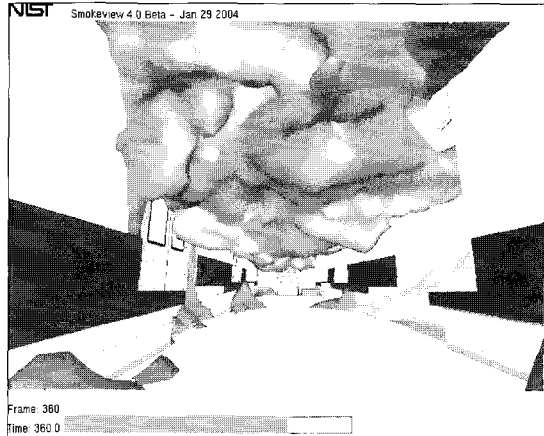


그림 2. 철도차량 화재모델링 해석 사례

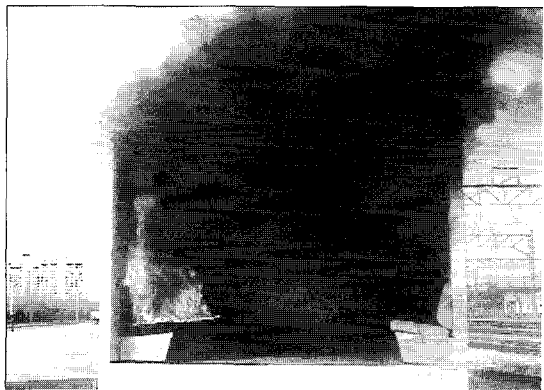


그림 3. 목합차량 화재시험 장면

맞춰 개조차량의 화재안전도를 내장재 사양, 시편 화재시험, 총발열량 및 발연량 측정, 개조 전후의 차량 화재 시뮬레이션, 목합차량 실화재시험 결과 등을 종합적으로 검토하여 안전도 평가를 수행하는 작업도 진행되어 왔다(그림 2, 그림 3).

철도시설 화재안전의 경우는 실대형 터널화재 시험 장비 선정 및 솔안터널(영동선 : 약 16km)내의 구난역에서 화재시 승객들의 대피 효율을 알아보기 위하여 EXDOS를 이용, 피난 시뮬레이션을 수행하였고, 이와 병행하여 구난역에서의 화재시 연기유동 및 화염 전파를 알아보기 위하여 구난역 그리드를 설계하여 전산 유동 모사를 할 수 있도록 준비가 완료되었다. 한편, 철도터널 안전도 분석(QRA)를 위하여 절차서 초안도 마련하였다.

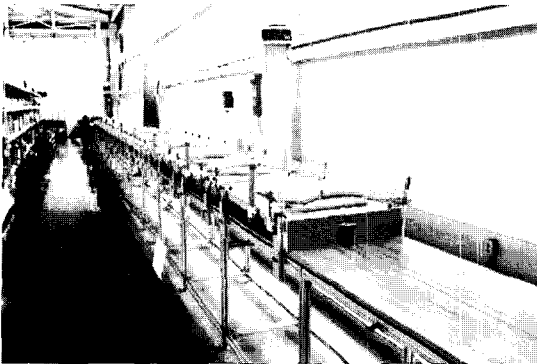


그림 4. 터널 시험모형 전경

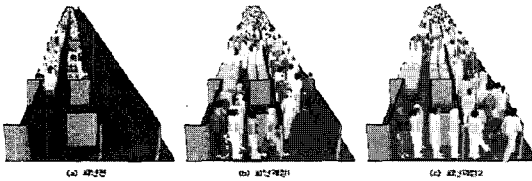


그림 5. 승객 피난 시뮬레이션 (EXDOS)

4. 철도화재 안전성능 평가 및 사고방지 기술 개발

본 과제는 2005년부터 2011년까지 6년간 철도화재 분야의 종합적인 안전성 향상을 위하여 연구가 수행될 예정이다. 특히 본 과제에서 추진하고 있는 연구개발과제 및 시험평가 설비는 철도시스템의 안전운행을 강화하기 위하여 신규 제정된 철도안전법과 철도차량안전기준(건교부 시행령)의 효과적 시행을 기술적으로 지원하고 있다. 이에 따라 철도화재의 예방, 피해저감, 인프라 구축을 위한 기술을 개발하도록 설계되어 있다.

철도화재분야 사고사례에 대한 원인조사를 통하여 사고 예방분야에 안전표준설계와 화재안전도 예측기술의 필요성을 도출하였으며 이를 효과적으로 평가할 수 있도록 인프라 시스템의 구축 연구목표로 설정하였다. 피해저감 분야에는 화재가 발생했을 경우 인명 및 재산피해를 최소화하기 위한 화재감지, 초기소화, 배연 시스템 기술의 지능화 및 통합화 등에 필요한

핵심장치 개발 및 성능평가 기술의 개발을 목표로 하였다. 분야별 연구체계를 그림 6에 나타내었으며, 예산측면에서 보면 인프라구축에 약 50%, 예방 30%, 피해저감 20% 정도의 규모로 계획되고 있다. 세부적인 연구내용은

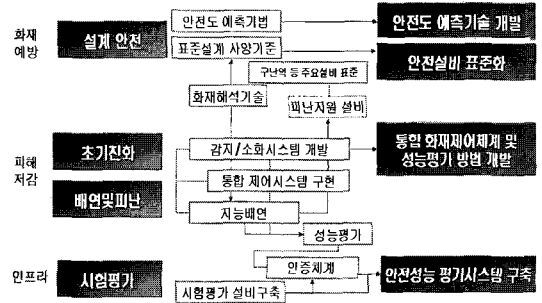


그림 6. 철도화재 안전기술개발 사업 도출 분야

- (1) '철도시스템 화재안전도 예측 기법 개발'을 목표로 철도차량 화재시험 평가 기법 개발, 철도차량 화재 시나리오 분석 및 시뮬레이션 예측 기법 정립, 철도 장대터널/역사 시험평가 및 시뮬레이션 예측기법 개발 등의 세부사항을 진행 중에 있다.
 - (2) '철도화재 안전성능 시험평가 시스템 개발'을 목표로 철도차량 및 시설 분야 실대형 화재안전성능평가 장치 개발에 주력하여 연구를 수행 중에 있다.
 - (3) '철도 화재 안전시설 및 설비 표준화' 과제로 역시 철도시스템의 안전설비의 표준화를 목표로 차량의 비상대피 구조나 초장대터널 구난역 스크린도어 등의 표준사양 작성을 목표로 연구를 수행중이다.
 - (4) '철도시스템 화재제어 장치 성능평가 방법 및 통합화재제어체계 개발' 과제로 철도에 사용되고 있는 각종 감지기, 통신장치, 소화시스템의 개발 및 성능평가 방법 개발에 목표를 두고 있다.
- 이러한 연구목표를 효율적으로 수행하기 위하여 한국철도기술연구원을 주관연구기관으로 한국건설기술연구원, 한국기계연구원, 로템, 다담마이크로, 이플러스티, 중앙대학교, 국방대학교 등의 연구참여진

과 유원엔지니어링, 에스코건설턴트, 현대산업개발, 포트텍 등의 참여기업에 걸쳐 80여명의 분야별 전문 인력이 참여하고 있다.

시킬 수 있을 것으로 기대된다.

5. 결론

최근 철도경량화에 따른 다양한 재료의 사용과 고속화에 따른 선로 직선화의 요구에 따라 장대터널이 더욱 늘어나게 되었고 인력효율성을 추진하려는 무인 자동화가 추진되면서 점차 대형화재 사고의 가능성이 증대되어 왔다고 할 수 있다. 이러한 시범에서 철도 종합안전관리 체계마련을 위한 정부의 적절한 투자 계획이 수립되었다. 본 사업의 성공적 추진을 통하여 최적안전 설계를 하여 시행착오 비용을 절감하고, 철도산업분야의 안전기술을 한 단계 향상시킴으로서 대외 경쟁력 또한 혁신될 것으로 기대한다.

뿐만 아니라 우리나라 독자적인 철도 화재안전 성능평가 시험설비를 구축함으로써 철도 차량/시설물의 설계단계에서부터 유지보수에 이르기 까지 제도적 관리 지침을 명확히 하여 철도차량 및 시설물의 종합적인 철도 안전관리시스템 개발기술을 한층 더 발전

참고문헌

1. 건설교통부(2003) “도시철도 시스템의 안전방재 능력향상 방안” 연구보고서
2. 건설교통부(2005) “철도차량안전기준 및 체계구축” 2차년도 연구보고서
3. 건설교통부·한국건설기술연구원, 건축물 내화설계기술 개발, 2003. 8.
4. ASTM E 2061-2003, “Standard Guide for Fire Hazard Assessment of Rail Transportation Vehicles”
5. Richard D. Peacock, NISTIR 6563, “Fire Safety of Passenger Trains;Phase III Evaluation of Fire Hazard Analysis Using Full-Scale Passenger Rail Car Tests”
6. Nathan White, Vince Dowling and Jonathan Barnett, “Full-Scale Fire Experiment on a Typical Passenger Train” Proceedings in IAFSS 2005.