

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계 구축 및 장비개발 기획연구 보고서

2012. 6. 22.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관 귀하

이 보고서를 "철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 기획연구"
과제의 보고서로 제출합니다.

2012. 6 .22

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 : 곽상록 선임연구원

연 구 원 : 함영삼 책임연구원

" : 이희업 책임연구원

" : 이덕희 선임연구원

" : 온정근 선임연구원

" : 박찬우 선임연구원

" : 박원희 선임연구원

" : 김진성 선임연구원

보고서 요약서

과제고유번호		해 당 단 계 연 구 기 간		단 계 구 분	(해당단계)/ (총 단 계)
연구사업명	중 사업명	미래철도기술개발사업			
	세부사업명	미래철도기술개발사업			
연구과제명	대 과 제 명				
	세부과제명	철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 기획연구			
연구책임자	과상록	해당단계 참 여 연구원수	총 : 8명 내부 : 8 명	해당단계 연 구 비	정부 : 8천만 계 : 8천만
		총연구기간 참 여 연구원수	총 : 8 명 내부 : 8 명	총연구비	정부 : 8천만 계 : 8천만
연구기관명 및 소 속 부 서 명	한국철도기술연구원 시험인증안전센터		참여기업명		
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
위 탁 연 구	연구기관명 :		연구책임자 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	
국내에서는 철도운행속도 향상을 위해 철도 터널 및 교량구간이 지속적으로 증가하는 추세이나, 터널 및 교량에서 열차의 탈선, 충돌, 화재사고 발생한 경우 기존의 사고복구 및 대응장비의 활용이 어려워 사고의 피해가 확산되거나, 사고 복구 시간이 증가하여 사회적 문제로 대두되고 있다. 2011년 광명역 일직터널에서 발생한 고속열차 탈선사고의 사고복구에는 30시간 이상이 소요되었으며, 대구지하철 화재사고 복구에는 10개월 이상이 소요되었다. 본 기획연구에서는 현재의 사고복구시간에 영향을 미치는 인자를 분석하여 신속한 사고복구를 위한 체계구축과 복구장비 개발방안을 제시하였다. 개발되는 복구장비는 일반선로는 물론 터널 및 교량구간과 같이 기존의 사고복구 장비의 운영이 어려운 구간에서도 효율적으로 활용될 수 있다. 현재는 사고복구 장비를 전량 수입하고 있으나, 국내 건설기계 산업의 발전에 따라 국산화가 가능하며, 이미 개발된 건설기계 장비의 요소기술을 활용하는 방안을 고려하였다. 또한 장비의 구매, 유지보수비용 및 운영인력을 최소화하여 경쟁력을 확보할 수 있도록 하였다.					
색 인 어 (각 5개 이상)	한 글	사고복구, 열차사고, 복구장비, 철도안전, 안전체계			
	영 어	accident recovery, train accident, supporting equipment, railway safety, safety system			

요 약 문

I. 제 목 : 철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 기획연구

II. 기술의 정의 및 필요성

1) 기술의 정의

기존에 개발되어 운영중인 장비의 적용이 어려워 새로운 형태의 복구장비를 개발하기 위한 연구로 사고복구체계구축 연구, 탈선사고 복구장비 개발 연구, 충돌사고 복구장비 개발연구, 화재사고 진압 및 복구장비 개발 연구로 구성되어 있다.

① 철도사고 복구체계 구축연구

철도사고 복구체계 구축연구는 기존에 수행된 비상대응체계구축 연구와 차별되는 내용으로 기존의 비상대응체계구축이 사고예방, 사고시 인명구조에 초점을 두고 있다면, 본 기획연구의 내용인 사고복구 체계구축연구에서는 사고복구시 가장 문제된 되는 고장차량의 신속한 처리와 이를 위한 의사결정, 복구장비의 신속한 출동, 복구장비의 운영 등의 체계구축과 관련된 내용이다.

② 탈선사고 복구장비 개발연구

국내의 열차사고중 가장 빈번하기 발생하는 열차 탈선사고중 터널 및 교량구간과 같이 기존의 복구장비 사용이 어려운 구간에서 발생한 사고의 신속한 복구를 위한 새로운 형태의 장비개발연구이다. 과거에는 국내의 건설기계산업의 요소기술이 발달하지 않았으며, 국외에서 사고복구 장비가 개발되어 도입이 가능하였으나, 최근에는 국내 건설기계산업의 발달과 국내 철도운행환경 변화(터널 및 교량구간 증가, 관절대차 및 틸팅대차 등 차종의 다양화)로 인해 국외장비의 국내 도입에 어려움이 있어 새로운 형태의 복구장비에 대한 요구가 증가하였다. 본 기획연구에서 수행한 시장조사 결과 탈선복구장비의 개발에 필요한 요소기술은 이미 모듈화 되어 다양한 건설기계산업에서 활용중에 있어, 이를 조합하고, 개량하면 철도사고 복구장비에 도입할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 전차선의 해체작업이 필요 없으며, 터널 및 교량구간에서도 활용이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 것으로 예상된다.

③ 충돌사고 복구장비 개발연구

터널 및 교량구간에서 열차의 충돌이나 추돌사고가 발생한 경우 차량의 변형으로 인해 차량한계를 넘는 경우 사고차량의 처리에 장시간이 소요되어, 신속한 사고복구가 어렵다. 이와 같이 파손된 차량의 신속한 해체 및 인근의 차량기지까지의 신속한 이동을 위해서는 충돌로 전복된 차량을 세우는 장비, 신속한 선로로 이동을 위한 탈선복구 장비와 함께 파손 차량을 신속히 차량기지나 외부로 이동을 위해 필요한 높이가 낮은 평판차량 등의 복구장비 도입의 필요성이 제기되었다. 본 기획연구에서는 열차 충돌사고의 신속한 사고복구를 위한 장비개발 방안을 제시하였다.

④ 터널화재 진압 및 환경피해복구차량 개발연구

터널구간에서 화재가 발생한 경우 사고진압 장비는 터널내에 설치된 연결송수관이 유일하다. 그러나 연결송수관의 작동을 위해서는 40분 이상이 시간이 소요되어 화재의 확산 전에 신속한 진압이 불가능하여 구조물 손상으로 인한 장기간의 열차운행중단이 불가피하다. 또한 소방대의 소화장비로는 화재사고 발생지점까지 접근이 어려운 실정이다. 기존에 설치된 연결송수관을 활용한 훈련과정에서 연결송수관의 작동시간과 관련된 많은 문제점이 제기되고 있으며, 터널 화재시 신속한 진압에 실패할 경우 터널구조물의 변형이 발생하여 대구지하철화재 사고와 같이 10개월 정도의 장기간의 운행중단이 발생할 수 있다. 본 기획연구에서는 터널구간에서 발생한 화재사고시 화재로 인한 인명구조와 시설물의 피해를 최소화하기 위한 특수구난 차량을 개발방안을 제시하였다. 선진국에서도 터널 화재에 대비하여 연결송수관 대신 특수구난 차량을 도입하는 추세로, 많은 전문가들이 제기하는 철도터널화재시의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 터널과 같이 접근이 어려운 구간에서 위험물 유출이 발생한 경우 신속한 대응이 어려워 환경오염이 확대될 우려가 높다.

2) 기술개발의 필요성

철도사고가 발생한 경우 철도사고복구용 기중기를 사용하였으나, 철도터널 및 교량에서 발생한 사고의 복구에는 철도 터널내 다양한 구조물과의 간섭으로 인해 기존의 사고복구 장비나 민간의 일반장비의 사용이 어렵다. 또한 철도터널에서 화재사고가 발생한 경우 기존에는 연결송수관, 제연설비 등을 이용한 화재진압 및 구조물 보호개념을 도입하였으나, 이들 시설물의 설치 후 실제 훈련과정에서 이들 설비의 실효성이 낮아 대안을 모색하고 있는 실정이다. 터널 단면구조상 상부의 구조물과 간섭이 없는 높이가 7m 정도로 일반 철도사고 복구용 기중기의 작업 공간이 부족함을 알 수 있다. 열차운행속도 향상을

위해 국내에서는 지속적으로 터널 및 교량구간이 증가하는 추세로, 터널 및 교량구간에서 발생한 열차사고의 복구는 일반선로에서 발생한 사고에 비해 보다 많은 복구시간이 소요된다. 철도 터널내에는 전차선 이외에 많은 천정내 구조물과 천정 높이로 인해 사고 복구용 기중기의 붐대를 이용한 인상작업에 필수적인 공간의 확보가 용이하지 않다. 터널의 단면이 비교적 넓은 경부고속철도 터널의 경우 전차선을 철거한 경우에도 터널의 높이를 고려하면 기중기의 운영각도가 14° 이내로 안정적인 작업을 위한 공간이 확보되지 않는다. 또한 분기기가 설치되지 않아 터널 단면이 낮은 경우는 기중기 작업이 불가능하다. 철도운영과 관련된 다양한 규정 및 매뉴얼에는 차량고장이나 비상시 터널이나 교량을 피하여 일반선로나 역사에 정차하도록 하고 있으나, 실제로 많은 사고가 터널이나 교량에서 발생하고 있다. 국내의 경우 터널이나 교량의 비중이 높아 위험성이 더욱 높다. 예로서 '11년 광명역 부근 일직터널에서 발생한 KTX 열차 탈선사고의 경우 사고 복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 중국에서 발생한 교량내 고속열차 충돌사고는 복구 장비가 없어 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하는 방법을 적용하여 많은 비난여론이 있었다. 대구지하철 화재사고나 '11년 일본 홋카이도 터널에서 발생한 열차화재사고의 경우 열차화재로 인한 차량전소는 물론 구조물 손상으로 장시간의 열차운행중단이 유발되었다.

열차사고가 철도터널 및 교량구간에서 발생한 경우 구조물과의 간섭으로 인해 복구장비의 작업공간이 부족하고, 복구장비의 진입이 어려워 복구시간이 증가하고 철도운행 중단 시간과 물적, 인적사고의 피해가 크게 확대되는 문제점이 있다.

국내 철도의 운행환경은 열차운행 빈도가 매우 높은 반면 우회선로가 부족하여, 단순한 사고에도 많은 열차들이 장시간의 운행중단을 유발할 수 있다. 이 경우 사회적 파장이 확대되어 국민의 불편을 초래하여 신속한 사고복구체계 구축과 효율적 복구를 위한 장비 개발이 필수적이다. 반면, 독일, 영국, 프랑스, 일본의 경우 다양한 우회선로가 존재하여 특정 지점에서 사고가 발생한 경우 열차를 우회하여 국내보다 사고복구의 시간적 여유가 많다. 이로 인해 선진국에서 철도사고가 발생한 경우 신속한 복구보다는 엄격한 사고조사를 통한 재발 방지대책 마련과 복구과정에서의 작업자의 안전에 초점을 둔 사고복구체계가 구축되어 있다. 국내는 선로연장당 열차운행거리와 여객인km가 유럽국가 보다 8배 정도 높은 운행밀도와 여객수를 갖고 있어 열차사고나 운행장애 발생시 그 파장은 심각하였다.

국내에는 우회선로가 부족하고 열차운행 밀도가 높아 사고발생시 사고복구 시간이 부족하며, 사고복구 지연시 철도운영자는 물론 여객의 피해가 급격히 확대되는 구조적 문제가 있다. 최근에는 열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하는 추세이다. 열차의 충돌·탈선·화재사고가 일반선로에서 발생한 경우 신속한 복구가 가능하

나, 터널 및 교량구간에서 발생한 경우 사고복구용 기중기의 사용제한 및 복구장비의 사고장소 접근상의 어려움으로 사고복구 시간이 2시간 이상 증가하는 문제가 있다. 한국철도공사의 운행노선에는 우회선로가 부족하며, 우회시 정상노선보다 소요되는 시간이 길어 거의 우회운행을 하지 못하고 있다. 고속철도의 경우 비상시 고속열차 전용선로와 일반선로간의 이동을 위한 선로역시 부족한 실정이다. 도시철도의 경우 노선간 열차가 이동할 수 있는 지점이 부족하고, 사고시 해당 선로에 여러 편성의 열차가 존재하는 경우가 많아 사고복구 장비를 이중화하여 선로를 통한 접근과 일반도로를 이용한 접근방식을 동시에 구축하고 있다.

열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하고 있는 추세로 터널구간에서 열차의 충돌, 탈선, 화재사고가 발생한 경우에 대비한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 대부분의 연구는 사고예방에 초점을 두고 있으며, 사고 이후 사고복구와 관련된 연구는 없었다. 그러나 2011년 발생한 광명역 부근의 KTX 탈선사고 복구과정에서 사고복구 전문성 및 복구장비의 개발에 대한 많은 필요성이 제기되었다.

현재까지는 열차의 운행중 탈선 및 충돌사고가 발생한 경우 복구용 기중기를 이용하여 복구가 가능하였다. 그러나 터널, 교량, 복합역사의 경우 복구용 기중기 사용을 위한 공간의 제약으로 휴대용 복구장비인 제크키트를 이용하였다. 휴대용 제크키트의 경우 복구작업자가 사고 현장까지 들고 이동하는 과정에서의 어려움과 복구 과정에서 2차 사고 위험성이 높은 문제점이 있다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

① 철도사고의 효율적 복구를 위한 제도 마련

국내의 철도산업은 환경, 기술, 인력면에서 급격한 변화를 겪고 있다. 운행환경 변화중 가장 큰 변화는 열차운행 속도 향상을 위해 지속적으로 철도터널 및 교량구간의 증가이다. 이는 철도사고 발생시 신속한 복구를 어렵게 하는 요인이다. 또한 관절형 고속철도차량도입, 틸팅열차, 경량전철, 바이모달 트램 등 다양한 차종이 도입되어 사고 복구시 어려움이 증가하고 있다. 기존의 차량은 분리가 용이하여 탈선 및 충돌시 복구가 용이하였으나, 이러한 관절대차의 경우 분리가 어려워 사고복구에 보다 많은 시간과 장비가 소요된다. 사고복구에 대해 다양한 경험을 갖고 있는 종사자들의 노령화 및 퇴직자가 증가하고 있는 반면, 사고복구에 대해 경험이 문서화 되어 있지 않아 사고복구에 대한 경험이 소멸될 수 있다. 사고복구와 관련된 사항은 현재 철도안전법 및 하위규정에 1줄 가량의

선언적인 내용만 기술되어 있다. 세부적인 기술기준에 있어 철도차량 안전기준에는 사고 복구를 위한 부품의 설치 등이 포함되어 있는 반면, 철도시설안전기준에는 관련내용에 대한 언급이 없는 실정이다. 또한 사고복구와 관련된 사항은 매뉴얼에도 선언적으로만 언급되어 있으며, 세부내용이 기술되지 않아 사고복구와 관련된 체계적인 제도 마련이 필요하다. 해당 과제에서는 다음의 5가지 기술을 제안하였다.

- 사고복구 의사결정 시스템 개발
- 철도사고 시나리오별 복구장비 운영방안 마련
- 사고복구 관련 제도 및 체계 마련
- 사고복구 지원체계 구축
- 터널구간 및 지하역사 화재사고의 진압 및 구난차량 운영방안 마련

과제의 연구결과물은 철도운영기관의 사고복구관련 매뉴얼과 비상대응계획에 반영하도록 하고, 사고복구 장비결정에 활용 하도록 하였다.

② 열차 탈선사고 복구장비 개발연구

국내의 열차사고중 가장 빈번하기 발생하는 열차 탈선사고중 터널 및 교량구간과 같이 기존의 복구장비 사용이 어려운 구간에서 발생한 사고의 신속한 복구를 위한 새로운 형태의 장비개발연구이다. 기존의 사고복구용 기중기의 작업을 위해서는 전차선의 철거 및 설치가 필요하여, 추가적으로 2시간 정도가 소요되며, 터널 및 교량내 구조물과의 간섭으로 기중기 사용이 어려운 경우도 많다. 또한 현재 도시철도 운영기관에서 주로 사용중인 체크키트의 경우 사고장소까지 이동중 직원의 부상위험이 높으며, 복구과정에서 안정성이 낮은 문제점이 제기되고 있다. 현재 국내에서 운영중인 탈선복구용 기중기 및 체크키트는 전량 수입에 의존하고 있으며, 고장시 수리가 어렵다. 또한 활용 빈도는 낮으나 비상장비로 복구 장비운동을 위해 많은 비상대기인력과 장소, 장비가 요구되어 철도운영기관의 어려움을 가중시키고 있다.

본 연구에서는 전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의 복구장비 개발방안을 제시하였다. 과거에는 국내의 건설기계산업의 요소기술이 발달하지 않았으며, 국외에서 사고복구 장비가 개발되어 도입이 가능하였으나, 최근에는 국내 건설기계산업의 발달과 국내 철도운행환경 변화(터널 및 교량구간 증가, 관절대차 및 틸팅대차 등 차종의 다양화)로 인해 국외 장비의 국내 도입에 어려움이 있어 새로운 형태의 복구장비에 대한 요구가 증가하였다. 본 기획연구에서 수행한 시장조사 결과 탈선 복구장비의 개발에 필요한 요소기술은 이미 모듈화 되어 다양한 건설기계산업에서 활용

중에 있어, 이를 조합하고, 개량하여 철도사고 복구장비에 도입할 수 있을 것으로 판단되었다. 개발하려는 복구장비는 다음의 요구사항을 충족하도록 제시하였으며, 국내 개발이 가능할 것으로 예상된다.

- 터널내 구조물과 간섭이 없이 사용가능한 사고복구용 기중기
- 지가(Outer trigger) 설치 장소가 부족한 교량에서 사용가능한 사고복구용 기중기
- 사고 장소까지 신속한 접근이 가능하도록 자동차 및 선로로 이동이 가능한 기중기
- 작업중 작업자 부상 및 탈선차량의 파손위험이 낮은 복구장비
- 작업자가 조립 및 분해가 가능한 기중기
- 고속철도, 도시철도, 일반철도 등 차종별 하중을 고려한 복구장비

본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 전차선의 해체작업이 필요없어 사고복구시간을 크게 단축 시킬수 있으며, 터널 및 교량구간에서도 활용이 가능하다. 또한 부피가 작고 별도의 유지보수 비용이 필요 없어 효율성이 높을 것으로 예상된다.

③ 열차 충돌사고 복구장비 개발연구

터널 및 교량구간에서 열차의 충돌이나 추돌사고가 발생한 경우 차량의 변형으로 인해 차량한계를 넘는 경우 사고차량의 처리에 장시간이 소요되어, 신속한 사고복구가 어렵다. 이와 같이 파손된 차량의 신속한 해체 및 인근의 차량기지까지의 신속한 이동이 어려운 경우가 발생한다. 실제 2011년 중국의 교량에서 발생한 고속열차 충돌사고의 경우 신속한 선로개통을 위해 파손차량을 교량 하부로 추락시켜 매장시킨 사례도 있다. 국내에도 이와 같은 사고시 신속한 복구는 불가능한 실정이다. 충돌사고의 효율적 복구를 위해서는 충돌로 인해 전복된 차량의 정렬, 정비를 위한 차량사업소까지 신속히 이동하기 위한 방안이 필요하다. 이를 위해 본 기획연구에서는 다음의 연구내용을 제안하였다.

- 충돌로 인해 변형된 차량의 이송을 위한 높이가 낮은 평판차량
- 충돌로 인해 차량한계 이상으로 변형된 부위의 절단을 위한 장비
- 충돌로 인해 전복된 차량을 세우기 위한 대용량 에어백 도입
- 파손차량의 선로이동을 위한 가대차
- 충돌차량을 평판차량 혹은 가대차 장착을 위한 기중기 개발(탈선복구 장비 활용)

본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 파손차량의 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축 시킬 수 있을 것으로 예상된다.

④ 터널화재 진압 및 환경피해 복구차량 개발연구

터널구간에서 화재가 발생한 경우 전문기관의 소화장비로는 화재사고 발생지점까지 접근 및 소화가 어려운 실정이다. 또한 기존에 설치된 연결송수관의 경우 소화수가 발화지점까지 도달하는데 40분가량의 긴 시간이 소요되며, 이 경우 이미 화재가 확산되어 구조물의 변형이 발생된다. 터널 화재의 신속한 진압이 실패할 경우 터널구조물의 변형이 발생하여 대구지하철화재 사고와 같이 10개월 정도의 장시간의 운행중단이 발생할 수 있다. 교량의 경우 2011년도에 발생한 외곽순환 고속도로 중동IC 교각하부에서의 화재사고 인해 4개월 간의 운행중단 사례가 있었다. 본 기획연구에서는 터널구간 및 교량에서 발생한 화재사고시 신속한 진압을 위한 특수구난 차량을 개발방안을 제시하였다. 철도터널에서의 화재사고는 발생 빈도가 낮아 위험물질의 누출로 인한 환경오염 예방, 터널청소 등 다목적으로 활용하도록 개발하는 방안을 동시에 검토하였다. 선진국에서도 터널 화재에 대비하여 연결송수관 대신 특수구난 차량을 도입하는 추세로, 많은 전문가들이 제기하는 철도터널화재시의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해 본 기획연구에서는 다음의 연구내용을 제안하였다.

- 터널화재시 발화지점까지 자력으로 접근 및 진압이 가능한 구난차량의 개발
- 자체 분무 시스템을 갖추고 있어 화재진압 및 여객 구난에 활용이 가능한 차량
- 터널화재 진압 및 구난용 특수차량의 운영에 대한 기준 개발
- 장비의 활용성을 높이기 위한 다목적 기능의 도입방안 검토
(위험물 및 유독물질 유출시 환경오염방지를 위한 기능을 갖춘 차량)

본 기획연구에서 제시된 구난차량을 도입할 경우 철도터널 화재시 신속한 화재진압으로 구조물의 변형을 최소화 할 수 있으며, 선로를 통한 인명구조, 유독물질 중화 등의 환경보호, 터널 구조물 청소 등 다용도로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

IV. 연구개발결과

본 기획연구에서는 국내의 사고복구 체계 및 장비현황조사, 현행 체계/장비 사용상의 문제점, 국외 현황조사, 국내외 철도사고 복구장비 개발업체의 기술현황 조사 등을 수행하였다. 세부적으로는 다음의 조사 분석을 수행하였다.

- 국내의 철도 터널 및 교량에서 발생한 사고 분석
- 철도사고복구 관련 국내제도, 기술기준, 고시에 대한 현황 조사·분석
- 철도공사 및 10개 도시철도 운영기관의 사고복구관련 장비 현황 조사

- 철도공사 및 10개 도시철도 운영기관 사고복구관련 문서의 조사·분석
- 국토해양부, 소방방재청 등에서 관리중인 철도사고 관련 표준매뉴얼 조사
- 철도운영기관의 사고복구 장비 운영 담당자 면담
- 철도운영기관의 안전관리 담당자 면담
- KTX 탈선 사고 복구참여 전문인력 면담
- 화재진압 특수구난 차량을 운영하는 국가방문 및 관련장비 운영현황 조사
- 사고복구 장비개발을 위한 장비개발 업체 면담 및 국제전시회 참가
- 한국건설기계산업협회의 국내건설기계 장비개발 관련 담당자 토의
- 국내의 철도사고 비상대응 및 복구훈련 참가 및 전문가 토의

본 기획연구를 통해 수행한 많은 전문가 자문 및 전문가 토의를 통해서 국내외 철도사고 복구 및 안전전문가와의 네트워크를 구축하여, 향후 관련 연구 수행시 심도있는 토의와 국가 및 운영기관간의 정보교류를 활성화하기 위한 기초를 마련하였다. 예로서 국내에서 2001년 이후 발생한 열차의 충돌, 탈선, 화재사고는 총 48건으로 이중 탈선사고 35건을 제외하면, 충돌 및 화재사고는 13건의 자료밖에 없는 실정이다. 이를 토대로 사고복구 시나리오 구성에는 어려움이 많이 있어, 전세계적으로 발생한 열차사고에 대한 다양한 정보를 교류하기 위해 국제철도연맹 및 유럽철도국과 교류하여 정보를 상호 교류하기로 하였다. 이 경우 국제적으로 발생한 열차사고 20,000건의 정보에 대해 분석이 가능하며, 이를 활용하면 다양한 사고복구 시나리오 및 복구전략의 수립이 가능하다.

위와 같이 다양한 분야의 전문가에 대한 토의와 관련자료의 검토를 토대로 추진 후보과제를 도출하였다. 다만, 철도터널내 사고복구를 위한 인양고리 설치와 같이 현장 적용시 많은 어려움과 부작용(테러 및 시설물 파괴행위 등)이 우려되는 사고복구를 위한 시설물 설치방안에 대해서는 보류 하였다. 이를 토대로 1개의 체계구축과 5개의 장비개발 방안을 제시하였다.

- 철도사고의 신속한 복구를 위한 체계구축 방안
- 철도터널 및 교량구간의 열차 탈선사고의 신속한 복구를 위한 장비개발 방안
 - 1) 구조물과 간섭이 없는 복구용 기중기 개발 방안
 - 2) 지게차 형태의 복구장비 개발 방안
 - 3) 차량하부에서 작동하는 복구장비의 개발 방안
- 열차 충돌사고의 신속한 복구를 위한 장비개발 방안
- 철도 화재진압 및 구난용 특수차량 개발 방안 및 운영기술 개발 방안

본 기획연구 내용은 국가의 위기대응체계와 연계되어 있는 부분으로 연구 수행 과정에서 많은 부분을 정부의 정책개발에 반영하고자 협력하였다. 이를 위해 정부에서 추진하는 국가위기대응체계점검, 철도운영기관의 비상대응 체계관련 매뉴얼 운영실태, 중앙재난안전대책본부 구성 및 운영회의, 신규 철도노선 개통에 대비한 비상대응 훈련 등에 참여하여 문제점을 발굴하고 본 기획연구를 통해 문제해결 방안을 모색하였다. 이외에 철도 운영기관별 자체 비상대응훈련 등에도 참여하여, 현장의 요구사항을 수렴하였다. 이러한 활동을 통해 다음과 같은 정책지원활동에 반영하였다.

- 국가위기대응체계점검 및 개선사항 도출
- 철도운영기관별 비상대응체계 개선사항 도출
- 철도사고복구 훈련 관련 매뉴얼의 문제점 도출
- 2012년도 철도안전종합시행계획 수립의 지원
- 비상대응계획의 검토 등 정책개선 활동

점검 및 전문가 토의를 통해 도출된 사고복구 및 안전관리상의 문제점을 정리하여 본 기획연구 보고서에 수록하였다. 향후 본 과제 추진을 통하여 이러한 문제점 해결 방안을 모색한다면, 국내 철도의 안전성 및 위기대응 능력은 크게 향상 될 것으로 예상된다.

V. 연구개발결과의 활용계획

본 기획연구를 통해 도출된 결과물은 철도사고복구 체계구축 연구와 관련된 복구장비 개발연구에 활용될 수 있다. 체계구축의 경우 현행 체계의 개선점, 인력운영상의 어려움, 장비의 유지관리, 장비의 현장투입 및 관련 인력의 교육훈련 등과 관련된 문제점 등을 분석하였으며, 이러한 문제점 분석을 토대로 해결방안의 마련이 가능하다.

사고복구 장비에 대해서는 현행 장비 운영상의 제약, 터널 및 교량에서 활용을 위한 필요사항, 장비 개발시 활용 가능한 요소기술 현황 등 다양한 분석이 포함되어 있어 이를 활용하면 장비개발시 시행착오를 최소화 할 수 있다.

본 기획연구의 결과물의 활용은 다음과 같다.

- 국가에서 관리중인 철도사고 대응관련 매뉴얼의 개정 : 고속철도 대형사고 위기관리 표준매뉴얼(국토해양부), 지하철 대형화재사고 위기관리 표준매뉴얼(국토해양부 및 소방방재청)

- 철도운영기관에서 관리중인 철도사고 대응관련 매뉴얼의 개정 : 철도운영기관에서 업무 분야별로 운영중인 위기대응 실무매뉴얼(본사), 현장조치 행동매뉴얼(개별 사업소)의 개정
- 철도비상대응계획 수립에 관한지침(국가고시) 및 철도운영기관의 철도 비상대응계획 수립의 세부적인 기준 마련
- 철도사고복구 조직, 장비 및 인력운영에 대한 법적인 근거 마련(현재는 운영기관 자율적인 사규로 운영중)
- 철도사고복구 조직, 장비, 인력 운영에 대한 세부적인 기준 마련
- 철도사고복구시 신속한 의사결정 지원을 위한 시스템 구축 마련
- 철도 터널 및 교량에서 발생한 탈선 및 충돌사고 복구장비 4종의 개발 방안 마련
- 철도화재 진압 및 구난을 위한 특수차량 개발 방안 마련
- 철도화재 진압 특수차량의 운영방안 마련
- 철도화물 운송과정에서 발생한 환경오염사고의 신속한 복구를 위한 장비 개발 방안 마련

SUMMARY

I . Title : Research Plan on Construction of Systems and Development of Equipment for Efficient Recovery from Train Accidents

II. Definition and Necessity of the R & D

1) Definition of the R & D

This research is for developing new types of recovery equipment since it is difficult to apply the existing equipment in the field. This research consists of four kinds of research: construction of accident recovery system; development of derailment recovery equipments; development of collision recovery equipments; and development of equipment for fire suppression and rescue.

① Research on construction of accident recovery system

The research on construction of accident recovery system is different from previous researches on construction of emergency response system. The latter focuses on preventing accidents and saving lives in accidents, while the former involves constructing the systems for rapid handling of broken vehicles, which is the biggest challenge in the accident recovery, decision-making for prompt measures, speedy dispatch of recovery equipment, and operation of recovery equipment.

② Research on development of derailment recovery equipment

This research is for developing new types of equipment for rapid recovery from accidents which occur in the sections that are difficult for the existing recovery equipment to access, such as tunnels or bridges. In the past, the element technologies of local construction machinery industry had not been developed, and the recovery equipment developed in foreign countries could be used in our railroad system. In recent years, however, with the development of local construction machinery industry and changes in environment of operation of railroads (increase of tunnels and bridges and diversification of vehicles, e.g., articulated bogies and tilting bogies), there are difficulties in introducing foreign equipment, which has caused the demands for new

types of recovery equipment to increase. The market research conducted at this pilot research shows that the element technologies required for development of derailment recovery equipment have already been modularize and utilized in various construction machinery industries, by which it is considered that they could be used in developing accident recovery equipment by being combined and improved. If the recovery equipment suggested in this pilot research is introduced, there is no need for dismantling catenaries and it can be used even in tunnels and bridges. Thus, it is expected that it can greatly reduce the recovery time.

③ Research on development of collision recovery equipment

In case train collision or rear-end collision accidents occur in tunnels or bridges, if the vehicles are deformed beyond the vehicle gauge, it takes a long time to remove the damaged vehicles, so it is difficult to recover the accidents quickly. In order to dismantle the damaged vehicles rapidly and to transfer them to a nearby car depot quickly, the equipment to lift up the vehicle overturned by collision, the equipment to rehabilitate derailment and the low flat-plate vehicle to transfer the damaged vehicle to the car depot or the outside quickly are required. This pilot research suggests the ways of developing equipment for rapid recovery from train collision accidents.

④ Research on development of special vehicles for tunnel fire suppression and rescue

In case fire breaks out at a tunnel, the connection water pipes installed at the tunnel are the only way to extinguish the fire. However, it takes more than 40 minutes to operate the connection water pipes. Therefore, it is impossible to suppress the fire quickly before the fire spreads, so that the suspension of train service for a long time caused from damage of structures is inevitable. In addition, it is hard for the fire apparatus of the fire brigade to approach the fire occurrence point. During the training process using the connection water pipes installed previously, many problems involved with the operation time of the connection water pipes were raised. In the event of a tunnel fire, if it is not extinguished quickly, the tunnel structures may be damaged and a long-term suspension of train service may happen as in Daegu subway fire accident where train service had been suspended for about 10 months. This pilot research suggests how to develop special rescue vehicles for saving lives and minimizing the damage to facilities in case of the fire at the tunnel. Currently, it

is the trend even in advanced nations to introduce special rescue vehicles in place of connection water pipes in order to be prepared for the tunnel fire. It is expected that they will resolve the problems in the tunnel fire raised by many experts.

2) Necessity of the R & D

To date, in case railroad accidents occur, the crane for recovery has been used. However, should accidents occur in tunnels or bridges, the crane may interfere with various structures in them. In the past, in the event of a tunnel fire, the concepts of fire suppression and protection of structures using the connection water pipes or smoke control system were applied. But in fact, the usefulness of the facilities was proved low during the training course, so that alternatives are now being sought. In railroad tunnel about seven-meter high, which means that the work space of a common recovery crane is insufficient. Currently, to increase the train driving speed, tunnels and bridges have continuously increased in the country. In the event that train accidents occur in the tunnel or bridge, the work space of recovery equipment is insufficient due to interference with structures, and the recovery time is extended because of difficult access of recovery equipment, which in turn causes the suspension of train service to be extended and the material and personal damages to be expanded.

When it comes to the Korean railroad operation environment, the operation frequency is very high, while the detour lines are short, thus even minor accidents may cause a long-time suspension of train service. This may have considerable social effects and inconvenience the public. Therefore, it is necessary to construct a rapid accident recovery system and to develop equipment for efficient recovery.

Up to the present, in case a running train is derailed and collided with an oncoming train, the recovery crane has been used for recovering from the accident. However, the space for using the recovery crane is short in the tunnels, bridges or complex stations. For that reason, jack kit, portable recovery equipment, has been used. However, it is also hard to carry the jack kit to the scene of the accident and it has a high risk of the second accident in the recovery process.

III. Contents and Scope of the R & D

① Construction of a system for efficient railroad accident recovery

The issues related with the accident recovery are only stated in the Railroad Safety Act and subordinate regulations declaratively at present. Regarding the detailed technology standards, the Rolling Stock Safety Standards include installation of parts for accident recovery, while the Railroad Infrastructure Safety Standards do not mention them. Furthermore, the matters relevant with the accident recovery are also mentioned only declaratively in manuals without referring to the details. Therefore, a systematic system for accident recovery should be constructed. This project suggests the following five technologies:

- Development of a decision-making system for train accident recovery
- Preparation of the way how to operate the recovery equipment by the accident scenario
- Preparation of the institutions and systems related with accident recovery
- Construction of the system supporting accident recovery
- Preparation of the way how to operate the special vehicles for fire suppression and rescue at the tunnel and the underground station

The results of this project will be reflected in preparation of the accident recovery manuals and emergency response plans and utilized in deciding the accident recovery equipment.

② Development of derailment recovery equipment

This research suggests the way how to develop the recovery equipment having the structure that can lift up the broken vehicle from the underbody so that the rail can be recovered without dismantling of the catenaries. In the past, the element technologies of local construction machinery industry had not been developed, and the recovery equipment developed in foreign countries could be used in our railroad system. In recent years, however, with the development of local construction machinery industry and changes in environment of operation of railroads (increase of tunnels and bridges and diversification of vehicles, e.g., articulated bogies and tilting bogies), there are difficulties in introducing foreign equipment, which has caused the

demands for new types of recovery equipment to increase. The market research conducted at this pilot research shows that the element technologies required for development of derailment recovery equipment have already been modularized and utilized in various construction machinery industries, by which it is considered that they could be used in developing accident recovery equipment by being combined and improved. The recovery equipment to be developed in this research should satisfy the following requirements and it is expected that it can be locally developed.

- It should be able to be used without interference with the structures in the tunnel.
- It should be able to be used in the bridge which has shortage of space to install the outer trigger.
- It should be able to be transferred by car or along the track so that it can approach the scene of the accident quickly.
- It should have a low risk of injuring workers and damaging the derailed vehicles.
- It should be able to be easily assembled and disassembled by workers.
- It should consider the load by vehicle such as high-speed train, light rail train, and conventional rail.

In case the recovery equipment suggested in this research plan is introduced, there is no need of dismantling the catenaries, which may greatly reduce the recovery time, and it can be used even in tunnels or bridges. Moreover, it is small in volume and no maintenance cost is required, by which it is expected that the efficiency will be high.

③ Development of collision recovery equipment

In case train collision or rear-end collision accidents occur in tunnels or bridges, if the vehicles are deformed beyond the vehicle gauge, it takes a long time to remove the damaged vehicles, so it is difficult to recover the accidents quickly. Like this, sometimes it is hard to quickly dismantle the damaged vehicles and transfer them to a nearby car depot. In fact, when a train collision accident occurred in China in 2011, they threw the damaged vehicles from the bridge for rapid resumption of the train service. In the event that such an accident occurs in Korea, it is also impossible to recover from the accident rapidly. For efficient recovery from the collision accident, the ways to transfer the vehicles overturned by the collision to the vehicle maintenance shop for alignment and repair are required. For these, this pilot research

suggests the following equipment.

- A low flat-plate vehicle for transferring the vehicles deformed by collision
- Equipment to cut the region deformed beyond the rolling stock gauge by collision
- A large-capacity air bag to lift up the vehicle overturned by the collision
- A temporary truck to transfer the damaged vehicle along the track
- A crane that can mount the collided vehicle onto the flat-plate vehicle or the temporary truck (The derailment recovery equipment may also be used.)

Should the recovery equipment suggested in this pilot research is introduced, the damaged vehicle can be transferred quickly, so it is expected that it will significantly reduce the recovery time.

④ Research on development of vehicles for tunnel fire suppression and rescue

This pilot research suggests the ways of developing special rescue vehicles for rapid suppression at fire accidents which occur in tunnels or bridges. Since the fire in the tunnel does not occur frequently, we considered the ways for using the special rescue vehicles for many purposes including prevention of environmental pollution due to leakage of hazardous materials and cleaning of tunnels. It is the trend even in advanced nations to introduce special rescue vehicles in place of connection water pipes in order to be prepared for tunnel fires. It is expected that this will solve the problems in the railroad tunnel fire raised by many experts. For this, this pilot research suggests the following items.

- Development of rescue vehicles that can approach the point where the fire started in the tunnel and can suppress fires on its own
- Development of vehicles that can be used for passenger rescue as well as fire suppression, being equipped with a self-spraying system
- Development of standards for operation of the special vehicles for tunnel fire suppression and rescue
- Review of the plans for introduction of multiple-purpose functions to enhance the usability of the special vehicles (e.g., the vehicle having the function of prevention of environmental pollution in case of leakage of dangerous and toxic substances)

In case the rescue vehicles suggested in this pilot research is introduced, it is expected that the deformation of structures may be minimized by rapid fire suppression and lives can be saved through tracks and toxic substances can be neutralized, and so on.

IV. R&D Results

This pilot research conducted surveys on the domestic accident recovery system and equipment condition, problems of current system/equipment operation, foreign condition, and the technology condition of local and foreign railroad accident recovery equipment development companies. In detail, we conducted the following surveys and analyses.

- Analysis on the accidents which occurred in domestic railroad tunnels and bridges
- Survey and analysis of present state of domestic systems, technology standard and notifications related to railroad accident recovery
- Survey on the present state of accident recovery equipment of KORAIL and ten urban rail transit operators
- Survey and analysis on the documents related to accident recovery of KORAIL and ten urban rail transit operators
- Survey on the standard manuals related to railroad accidents under the management of the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTM) and the National Emergency Management Agency (NEMA)
- Interview with the persons in charge of operation of accident recovery equipment of train operators
- Interview with the persons in charge of safety supervision of train operators
- Interview with experts participating in the recovery of KTX derailment accidents
- Visit to the nations operating special rescue vehicles for fire suppression and survey of their operation condition
- Visit to the equipment development companies for development of accident recovery equipment and participation in the international exhibitions
- Discussion with persons in charge of development of domestic construction machinery and equipment of the Korea Construction Equipment Manufacturers Association (KOCEMA)

- Participation in domestic railroad accidents emergency response and recovery training and expert discussions

As above, based on the discussions with experts in various fields and review of relevant data, we derived our candidate projects. But, we shelved the plan to install facilities for accident recovery that may have many difficulties and adverse effects (e.g., terrorism and vandalism) in case of field application such as installation of lifting eyes for accident recovery in the railroad tunnels. Based on this, we suggest one scheme for system construction and five schemes for development of equipment.

- The scheme for constructing systems for rapid recovery from railroad accidents
- The schemes for development of equipment for rapid recovery from derailment accidents in tunnels and bridges
 - 1) The scheme for development of recovery crane without interference with structures
 - 2) The scheme for development of recovery equipment in the form of a forklift
 - 3) The scheme for development of recovery equipment that can lift up the broken vehicle from the underbody
- The scheme for development of equipment for rapid recovery from collision accidents
- The scheme for development of special vehicles for tunnel fire suppression and passenger rescue and the operation technology

The contents of this pilot research are related with the national crisis management system. In the process of this research, we made efforts in order to reflect the contents in the development of government policies. For this, we reviewed national crisis management systems, surveyed the current state of operation of the manuals for emergency response, and participated in the organizational meetings of the Central Disaster and Safety Countermeasures Headquarters, and also participated in the emergency response training to prepare for opening new rail lines, through which we found problems and looked for solutions to the problems. In addition to these, we participated in the self emergency response training by train operator and gathered field requirements. Through these activities, we supported policy making as follows:

- Checking national crisis management system and deriving improvements

- Deriving improvements from emergency response system by train operator
- Finding problems of railroad accident recovery training manuals
- Supporting establishment of the 2012 integrated railway safety plan
- Improving policies including review of the emergency response plan

By arranging the problems of accident recovery and safety supervision found through reviews and expert discussions, we contained them in this research report. If we try to find ways of resolving these problems in the main project in the future, it is expected that the safety and crisis management capacity of Korean railroad will be greatly improved.

V. Suggestions for Application

The suggestions for application of the results of this pilot research are as follows:

- Revision of the manuals for railroad accident response managed by the government: HSR major accident crisis management standard manual (MLTM), subway major fire accident crisis management standard manual (MLTM and NEMA)
- Revision of the manuals for railroad accident response managed by train operators: Revision of practical manuals for crisis management (headquarters), and action manuals for on-site measures (individual office) managed by train operator by work area
- Preparation of detailed criteria for guidelines on establishment of railroad emergency response plan (national notification) and establishment of railroad emergency response plan of train operators
- Preparing legal grounds for the operation of railroad accident recovery organizations and equipment and personnel (At present, being operated by autonomous rules of train operators)
- Preparing detailed criteria for the operation of railroad accident recovery organizations and equipment and personnel
- Constructing systems to support rapid decision-making at the recovery from railroad accidents
- Preparation of schemes for developing four kinds of equipment including the

equipment for restoring railroad lines after train derailment and collision which occur in tunnels or bridges

- Preparation of schemes for developing special vehicles for tunnel fire suppression and passenger rescue
- Preparation of the ways how to operate the special vehicles for tunnel fire suppression

목 차

제출문	iii
요약문	xxxii
Summary	xv
표목차	xxvii
그림목차	xxviii
1장. 기술의 정의 및 필요성	1
1절. 기술의 정의	1
1. 철도사고 복구체계 구축연구	2
2. 탈선사고 복구장비 개발연구	2
3. 충돌사고 복구장비 개발연구	3
4. 터널화재 진압 및 구난차량 개발연구	3
2절. 기술의 필요성	4
1. 사고복구 시간에 영향을 미치는 요인의 분석	9
2. 사고복구 과정의 문제점	12
3절. 세부과제별 기술정의	18
1. 철도사고의 효율적 복구를 위한 제도 마련	18
2. 열차 탈선사고 복구장비 개발연구	19
3. 열차 충돌사고 복구장비 개발연구	20
4. 터널화재 진압 및 구난차량 개발연구	20
2장. 국내외 동향 및 환경 분석	23
1절. 국내외 동향 및 환경분석	23
1. 국외 철도사고 복구 정책	23
2. 국외의 사고복구 장비	25
2절. 국내 정책 및 시장 동향	54
1. 관련 법규정 현황	54
2. 국가에서 관리하는 표준매뉴얼	58

3. 철도운영기관의 사고복구 분야별 매뉴얼	61
4. 철도사고 시나리오 관련 선행연구	70
5. 유관기관의 합동 훈련현황	77
6. 철도사고복구 장비현황	78
3절. 기술동향 분석서	88
1. 특허 동향 분석서	88
2. 논문동향 분석	94
3. 선행연구 분석	95
4절. 연구개발 인프라 분석	98
5절. 종합분석	101
 3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략	105
1절. 비전 및 목표	105
1. 정성적 목표	105
2. 정량적 목표	106
2절. 기술개발에 따른 미래상	108
1. 현황 및 미래상	108
2. 기술개발 전략 및 효과	114
3절. 연구개발과제 구성	123
4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략	125
1. 철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 연구	125
2. 열차 탈선사고 복구 장비 개발 연구	126
3. 열차 충돌사고 복구 장비 개발 연구	130
4. 터널화재 진압 및 환경피해 복구차량 개발연구	132
5절. 연구성과의 활용방안	135
1. 철도사고복구 체계구축 방안 연구	135
2. 탈선사고 복구장비 개발 방안 연구	136
3. 충돌사고 복구장비 개발 방안 연구	136
4. 터널 화재 진압 및 환경피해 복구차량 개발 방안 연구	136
6절. 연구수행체계 제안	137

4장. 사전 타당성 검토	139
1절. 정책적 타당성	139
2절. 기술적 타당성	143
3절. 경제적 타당성	144
4절. 기술개발 필요성	146
5절. 정부지원 타당성	147
6절. 사고복구 전문가 의견 수렴	148

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정	151
1절. 연구일정에 따른 인력투입 계획	151
1. 전체사업 인력투입 계획	151
2. 세부 과제별 인력투입	152
2절. 소요예산 산정	154
1. 전체 사업 소요예산	154
2. 세부과제별 소요예산	155

6장. 과제 제안요구서	159
--------------------	-----

<표 목 차>

표 1. 국가별 선로연장당 열차운행거리 및 여객수송밀도	5
표 2. 철도종류별 터널 및 교량구간의 비중	6
표 3. 스위스 화재진압/구난 특수차량 기술 정보	49
표 4. 주요 국가의 장대 철도터널의 방재현황	52
표 5. 국가 및 국제기구별 화재안전기준 비교	53
표 6. 열차탈선사고 ETA전개를 위한 초기위험사건 정의	74
표 7. 한국철도공사의 사고복구용 주요 기중기 사양	80
표 8. 철도터널 화재 진압관련 특허 목록	89
표 9. 열차사고 복구장비별 장단점 분석	103
표 10. 철도터널 연장별 연결송수관 설치비용	104

표 11. 탈선복구장비의 경제적 타당성	145
표 12. 화재복구장비의 경제적 타당성	145

<그림 목차>

그림 1. 터널 단면 구조- 높이가 낮아 기중기 작업 공간이 부족	1
그림 2. 교량내 다양한 구조물 설치 사진	2
그림 3. 수도권 도시철도 노선도 현황(여객 환승은 가능하나 열차우회는 불가)	6
그림 4. 철도공사의 사고복구 장비 배치현황 및 우회노선 현황	7
그림 5. 철도사고 복구시간에 영향을 미치는 요인들	10
그림 6. 철도종류별 사고발생건수 변화	10
그림 7. 국내의 철도운행중 발생한 열차사고율 변화	11
그림 8. 국내의 사상사고중 직무사고의 비중(전체 사고의 25.7%)	15
그림 9. 국내 철도운영기관별 비상연락망, 매뉴얼 및 비상복구 자재 비치 현황	17
그림 10. 런던지하철의 제3궤조 방식	23
그림 11. 파리지하철의 제3궤조 방식	23
그림 12. 미국의 철도사고 복구 현장	24
그림 13. 미국의 사고열차 이동을 위한 차량	24
그림 14. 중량물 이동용 장비	24
그림 15. 국내의 중량물 이동시범	24
그림 16. 견인을 위한 체인 및 구동 시스템	26
그림 17. 유압제어 벨브 및 제어장치	26
그림 18. 유압장비의 동력발생 장치	27
그림 19. 유압장치의 실린더 및 연결장치	27
그림 20. 유압을 이용한 지가(지지대) 장치	27
그림 21. 중량물의 계단 등의 이동장비	27
그림 22. 상용화된 다양한 이동식 간이 기중기 형태	27
그림 23. 선로복구 전용장비	28
그림 24. 터널내 선로복구 전용장비	28
그림 25. 침목교환 전용복구 장비	28
그림 26. 선로용접 전용 복구장비	28
그림 27. 전차선 보호를 위한 기중기 연결봉	28
그림 28. 선로작업을 위한 장비개량	28

그림 29. 오스트리아 철도 화재 소화/구난 차량	29
그림 30. 철도차량 내부 좌우에 설치된 물탱크	29
그림 31. 연기 침입 최소 및 구난활동성을 높인 자동문	30
그림 32. 오스트리아 소화/구난 차량 구성	30
그림 33. 오스트리아소화지원차량	31
그림 34. 특수 구난차량의 전기공급	32
그림 35. 소화컨테이너와 물주입구 연결	32
그림 36. 물공급차량과 물주입구 연결	33
그림 37. 소화건 설치	33
그림 38. 열영상 카메라 작동	34
그림 39. 감압밸브 설치	34
그림 40. 특수구난 차량중 물운반차량 충수	35
그림 41. 장비 해제조정 레버	35
그림 42. 열차 안전장치 작동	36
그림 43. 대기 전원 연결	37
그림 44. 스위스 화재진압/구난 철도차량운영 현황	39
그림 45. LRZ 차량 투입 개념도	41
그림 46. 새로 도입된 화재진압 특수구난 차량의 개요	41
그림 47. 탱크 소방차량, 자가 방호 노즐이 구동되는 모습	42
그림 48. 구조 컨테이너의 내부 전경	43
그림 49. 화재진압장비	44
그림 50. 포크트(Vogt) CAFS 작동 원리	44
그림 51. 화재구난 특수차량의 특수기능	45
소방장치 컨트롤 패널(상), 열감지 카메라(중), 모니터(하)	45
그림 52. SBB의 새로운 소방 및 구조열차	46
그림 53. 스위스 특수차량 운용편성구성	47
그림 54. 소규모 사고시의 출동유형	48
그림 55. 중형사고시의 출동유형	48
그림 56. 대형사고시의 출동유형	48
그림 57. 러시아의 철도터널 화재진압 및 구난용 특수차량 구성도	50
그림 58. 러시아의 철도터널 화재진압 및 구난용 특수차량 시연(2011년)	50
그림 59. 고속철도 대형사고 위기관리 표준매뉴얼의 사고복구 체계도	59
그림 60. 지하철 대형화재사고 위기관리 표준매뉴얼의 사고복구 체계도	60
그림 61. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 사고복구 흐름도 예시(역시설 화재)	62
그림 62. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 관제실의 사고복구 흐름도 예시	63

그림 63. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 역무실의 사고복구 흐름도 예시	64
그림 64. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 기관사의 사고복구 흐름도	65
그림 65. 현장조치 행동매뉴얼에 기술된 사고 시나리오 및 흐름도	66
그림 66. 현장조치 행동매뉴얼에 기술된 사고시 조치 사항	67
그림 67. 현장조치 행동매뉴얼의 단계별 조치요령	68
그림 68. 현장조치 행동매뉴얼에 기술된 개인별 임무 및 역할	69
그림 69. 열차탈선사고 ETA-선로결함	75
그림 70. 철도 터널내 화재사고시 승객 생존 시나리오	76
그림 71. 열차화재사고 사건수목(Event Tree) 구성도	76
그림 72. 유관기관과의 합동훈련 시연 사진	77
그림 73. 사고복구용 기중기 보관 및 출동사진	79
그림 74. 부산 교통공사의 경량전철 유니목	81
그림 75. 광주도시철도공사의 구원용 유니목	81
그림 76. 인천 교통공사의 유니목	81
그림 77. 대구도시철도공사의 유니목	81
그림 78. 철도공사의 유니목	82
그림 79. 부산 교통공사의 유니목	82
그림 80. 서울메트로의 복구차량	82
그림 81. 철도공사의 비상복구자재	82
그림 82. 철도운영기관의 각종 사고복구 장비 운영/출동준비 사진	83
그림 83. 도시철도 운영기관의 철도사고 복구장비 탑재 및 출동장비	84
그림 84. 열차 탈선사고 복구용 제크키트 설치 및 복구 훈련 사진	85
그림 85. 디알비파텍의 화재진압 로봇	86
그림 86. 로템의 화재진압 로봇 시연장면	87
그림 87. 철도사고 복구용 기중기 관련 특허에 기술된 개념도	88
그림 88. 열차 자동 화재진압장치의 구성	90
그림 89. 열차 자동화재진압시스템의 구성	90
그림 90. 철도차량의 객차 내부를 보인 사시도	92
그림 91. 철도차량용 물 분무식 화재 소화장치의 개략적인 구성도	92
그림 92. 화재감지 소화장치의 구성	93
그림 93. 소방시스템의 구성	94
그림 94. 중대사고 예방기술개발을 통해 구축된 다양한 시험평가 장비	97
그림 95. 건설기계 개발에 사용된 다양한 요소기술	99
그림 96. 차량하부 인상구조의 탈선복구장비의 주요 기능에 대한 개념도	118
그림 97. 현장 조립이 가능한 탈선복구용 기중기에 대한 개념도	119

그림 98. 탈선차량의 복구장비 운영에 대한 개념도	119
그림 99. 충돌로 인해 파손된 차량의 임시이동을 위한 임시 이동차량 개념도	120
그림 100. 화재진압을 위한 소화 및 장비탑재 차량 개념도	122
그림 101. 화재시 여객 구난을 위한 특수차량의 개념도	122

[요약문]

열차운행속도 향상을 위해 기존의 노선을 선형으로 개량하는 작업이 지속적으로 추진되고 있으며, 산악지형과 하천이 많은 국내 특성상 철도교량과 터널구간이 지속적으로 증가하고 있다. 경부고속철도의 경우 2단계 개통구간이후 전체 노선중 터널구간이 41%, 교량구간이 31%로 일반선로 구간의 비중인 28% 보다 높은 실정이다. 도시철도의 경우 대부분 터널(53%) 및 교량구간(7%)이다. 과거에는 일반선로 비중이 높아 철도운행중 발생한 열차의 탈선, 충돌, 화재사고에 대한 피해는 크지 않았다. 과거에는 대부분의 열차사고가 일반선로에서 발생하였고, 전차선이 가설되지 않아 신속한 사고복구가 가능하였다. 그러나 2011년 광명역 부근의 터널에서 발생한 고속열차 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고의 경우 일반선로가 아닌 터널에서 발생한 사고로 사고의 피해가 막대하였다. 지속적으로 증가하는 터널 및 교량구간에서 열차의 운행중 탈선, 충돌, 화재사고가 발생한 경우 각종 구조물로 인해 사고복구용 기중기의 사용에 제약이 있고, 전차선의 제거 및 설치에 추가적인 시간이 소요되어 신속한 복구가 어려워 복구에 상당한 시간이 소요되게 된다. 2000년 이후 발생한 사고 및 장애를 분석한 결과 터널구간에서 발생한 사고는 일반선로에서 발생한 사고나 장애에 비해 평균적으로 2시간 이상의 복구 시간이 추가적으로 요구되었다. 2011년 발생한 고속열차 탈선사고의 경우 사고복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 사고복구를 위한 방법결정에 5시간 이상 소요되었다. 대부분의 선진국에서도 철도운행중 발생한 열차의 충돌, 탈선사고와 같은 대형사고의 복구에는 1주일 이상 소요되고 있는 실정이다. 선진국의 경우 주요 선로에 대해 우회선로가 확보되어 있어, 1주일 이상 특정 선로에서 운행중단이 발생하여도 사회적으로 큰 문제가 되지 않고 있으며, 실제 운행중 선로에 이상이 발견되면 운행중 중단하고 선로를 유지보수 하고 있다. 그러나 국내의 경우 운행밀도가 높고 우회선로가 부족하여 사고복구에 충분한 시간을 확보할 수 없는 실정이다.

철도 터널구간, 지하역사에서 발생한 화재사고의 경우 대구지하철화재사고와 같이 10개월 이상의 장시간의 운행중단을 유발할 수 있으며, 대형 인명피해를 유발할 수 있어, 현재 40종 이상의 다양한 화재안전대책이 시행중이다. 이중 도시철도차량의 내장재 교체, 화재감지기 설치, 소화기 확대설치 등은 완료되었으나, 연결송수관 설치, 제연 및 배연설비 설치, 여객 대피로 설치 등은 현재까지도 진행중이다. 철도터널에서 화재시 일반적인 소방장비의 진입 및 활용에 어려움이 있어 화재진압 및 시설물 보호에 어려움이 많이 있다. 반면, 화재안전책을 위해 추진중인 많은 대책의 기대효과가 중복되며, 신속한 적용이 어려운 문제점이 있다. 예로서 연결송수관의 경우 1km 당 3억원 정도의 예산이 소요되는 반면, 화재시 연결송수관의 작동을 위해서는 40분 이상 소요되어 신속한 화재진압에 어려움이 예상된다. 또한 국내의 철도터널의 길이를 고려하면 막대한 예산이 소요된다.

국내에서 철도는 국가의 기반이 되는 교통시설로 위와 같이 장시간의 열차운행중단이 발생한 경우 철도에 대한 이미지 실추, 교통혼잡유발, 철도에 대한 신뢰성 추락은 물론 국가 기반 교통망으로서의 역할을 할 수 없게 되어 국민의 생활에 큰 불편을 초래한다. 현재 철도운영기관에 보유중인 장비와 인력을 유지할 경우, 터널 및 교량에서 발생한 대형 철도사고의 복구에는 일주일 이상이 소요된다. 이와 같이 장시간 열차 운행이 중단되는 상황이 발생하면, 사회적으로 큰 파장을 일으킬 수 있다.

철도사고 복구시간에 영향을 미치는 인자는 인력, 환경, 장비, 체계의 4가지 인자로 구성되며, 각각의 인자는 다음과 같이 구성된다.

- 1) 인적요인 : 사고복구 책임자의 의사결정(복구 방법 및 장비결정), 경험, 교육
- 2) 환경요인 : 사고발생 장소(터널, 교량, 역사, 산악지형, 사면 등), 작업공간, 사고차량 종류, 복구장비 진입로, 우회선로, 운행밀도, 기후, 온도 등
- 3) 장비요인 : 기중기, 잭키트(Jack kit), 유니모(Unimog), 구원기 등
- 4) 체계요인 : 안전기준, 매뉴얼, 여객대피, 운행통제, 외부지원, 장비지원, 의사결정 등

과거에는 연간 10건 이상의 열차사고가 발생하여 사고복구장비의 활용도가 높아 고가의 기중를 배치하여 운영하는 것이 가능하였으며, 사고복구 인력의 경험이 지속적으로 축적될 수 있었다. 그러나 최근 강화된 철도안전대책의 적용과 기술의 발달로 인해 열차의 충돌, 탈선, 화재와 같은 열차사고는 연간 2~5건 정도 발생하고 있다. 이로 인해 사고복구 장비의 활용도가 낮아 철도공사의 경우 사고복구용 장비 및 인력을 줄이는 추세이며, 과거 사고복구에 참여한 전문가들이 지속적으로 퇴직하고 있어 사고복구와 관련된 전문성이 유지되기 어려운 상황이다. 기술적으로는 고속철도의 관절대차, 틸팅열차, 전동차 운행, 경전철 등 차종별 다양화된 사고복구 전략이 요구된다.

사고복구 장비의 사양에 있어서는 과거 디젤기관차의 하중인 130톤을 기준으로 각종 사고복구 장비가 결정되어 국내 제작이 불가능하여 전량 수입에 의존하였다. 또한 장비의 성능이 높아져 부피가 커지고, 가격이 증가하였다. 현재 운영중인 도시철도(33~43톤) 및 고속철도(23~52톤)의 경우 보다 낮은 하중을 기준으로 장비를 설계한다면, 국내제작 가능, 운영 및 단가를 낮출 수 있으며, 장비의 경량화가 가능하여 많은 이익이 예상된다. 또한 화재안전대책의 경우 40여 가지가 넘는 안전대책이 수행중이나 대책의 기대효과가 서로 중복되어 이들에 대한 체계적인 검토를 통해 불필요한 설비를 제거하거나, 효율성이 높은 설비로 대체한다면 막대한 경제적 이익이 예상된다.

철도차량안전기준의 경우 철도사고 복구를 위한 사항이 포함되어 탈선시 인양지점, 인양

을 위한 설비에 대한 기준이 정해져 있으나, 철도시설안전기준의 경우 충돌, 탈선 및 화재사고 예방과 관련된 기준을 중심으로 구성되어 있다. 따라서, 사고복구와 관련된 언급은 없는 실정으로 필요시 사고복구를 위한 시설물 설치 기준에 대한 검토가 필요하다. 또한 현장에서 운영중인 각종 매뉴얼에는 다양한 열차사고의 대응에 대한 내용이 수록되어 있으나, 사고복구와 관련한 세부적인 내용이 없고, 현장 직원의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

철도사고 발생시 효율적인 사고복구를 위해서는 각각의 요인을 최적화 하여 관리하는 방안을 검토가 필요하며, 본 기획연구에서는 다양한 요인중 사고복구시간에 가장 큰 영향을 미치는 인자들을 발굴하여 이를 해결하기 위한 체계구축과 장비개발에 대해 연구하였다. 이를 위해 현재 국내 철도운영기관의 사고복구 장비 운영현황 및 장비운영실적, 사고복구 전문가들의 의견수렴, 국내외 사고복구 체계 및 장비현황조사, 사고복구 체계 및 장비운영상의 문제점 분석, 국내외 사고복구 장비개발 가능 업체 현황조사, 철도차량 종류별 사고복구에 필요한 장비조사 등 다양한 분석을 수행하여 사고복구 체계 및 장비개발 방안에 반영하도록 하였다.

1장. 기술의 정의 및 필요성

1절. 기술의 정의

2000년 이후 국내외에서 발생한 철도 사고중 가장 큰 인명피해를 유발하는 사고는 열차의 탈선, 충돌, 화재로 인한 사고이다. 철도건널목사고, 선로침입사고, 자살관련 사고는 열차사고에 비해 작은 인명피해를 유발하며, 신속한 사고처리가 가능하다.

국내에서 열차의 장시간 운행중단으로 연결되는 열차사고는 열차의 탈선, 충돌 및 화재 사고이다. 대규모 참사로 연결되는 대형사고는 국내에서는 10년 주기로 발생하고 있으며, 대형 사고로 연결될 가능성이 높은 소규모 사고는 연간 5건, 사고로 연결될 수 있는 관련된 운행장애는 100건 정도가 발생하고 있다.

철도사고가 발생한 경우 철도사고 복구용 기중기를 사용하였으나, 철도터널 및 교량에서 발생한 사고의 복구에는 철도 터널내 다양한 구조물과의 간섭으로 인해 기존의 사고복구 장비인 기중기의 사용이 어렵다. 또한 철도터널에서 화재사고가 발생한 경우 기존에는 연결송수관, 제연설비 등을 이용한 화재진압 및 구조물 보호개념을 도입하였으나, 이들 시설물의 설치 후 실제 훈련과정에서 이들 설비의 실효성이 낮아 대안을 모색하고 있는 실정이다. 아래의 터널 단면구조도를 보면 구조물과 간섭이 없는 높이가 7m 정도로 일반 철도사고 복구용 기중기의 작업 공간이 부족함을 알 수 있다. 열차사고의 형태에 따라 간섭이 없는 공간이 더욱 줄어들 수도 있다.

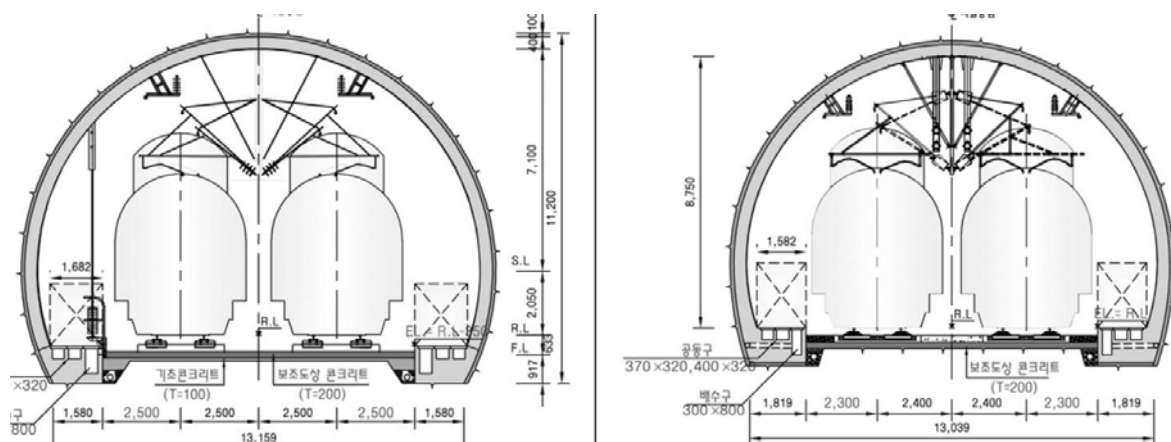


그림 1. 터널 단면 구조- 높이가 낮아 기중기 작업 공간이 부족



그림 2. 교량내 다양한 구조물 설치 사진

본 연구에서 개발하려는 기술은 기존의 개발된 사고예방 및 인적피해 예방기술이 아닌, 터널 및 교량구간과 같이 기존의 사고복구 장비를 활용하기 어려운 장소에서 발생한 사고의 신속한 복구를 위한 기술개발에 대한 기획연구이다.

기존에 개발되어 운영중인 장비의 적용이 어려워 새로운 형태의 복구장비를 개발하기 위한 연구로 사고복구체계구축 연구, 탈선사고 복구장비 개발 연구, 충돌사고 복구장비 개발연구, 화재사고 진압 및 복구장비 개발 연구로 구성되어 있다.

1. 철도사고 복구체계 구축연구

철도사고 복구체계 구축연구는 기존에 수행된 비상대응체계구축 연구와 차별되는 내용으로 기존의 비상대응체계구축이 사고예방, 사고시 인명구조에 초점을 두고 있다면, 본 기획연구의 내용인 사고복구 체계구축연구에서는 사고복구시 가장 문제된 되는 고장차량의 신속한 처리와 이를 위한 의사결정, 복구장비의 신속한 출동, 복구장비의 운영 등의 체계구축과 관련된 내용이다. 또한 본 기획연구에서 제시한 사고복구장비의 개발사양에 대한 선행연구를 포함한다.

2. 탈선사고 복구장비 개발연구

국내의 열차사고중 가장 빈번하기 발생하는 열차 탈선사고중 터널 및 교량구간과 같이 기존의 복구장비 사용이 어려운 구간에서 발생한 사고의 신속한 복구를 위한 새로운 형

태의 장비개발연구이다. 과거에는 국내의 건설기계산업의 요소기술이 발달하지 않았으며, 국외에서 개발된 사고복구 장비를 도입하여 사용해왔다. 최근에는 국내 건설기계산업의 발달과 국내 철도운행환경 변화(터널 및 교량구간 증가, 관절대차 및 틸팅대차 등 차종의 다양화)로 인해 국외 장비의 국내 도입 및 운영에 어려움이 있어 새로운 형태의 복구 장비에 대한 요구가 증가하였다. 본 기획연구에서 수행한 시장조사 결과 탈선복구장비의 개발에 필요한 요소기술은 이미 모듈화 되어 다양한 건설기계산업에서 활용중에 있어, 이를 조합하고, 개량하면 신뢰성이 높은 철도사고 복구장비에 도입할 수 있을 것으로 판단되었다. 본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 전차선의 해체작업이 필요 없으며, 터널 및 교량구간에서도 활용이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 것으로 예상된다.

3. 충돌사고 복구장비 개발연구

터널 및 교량구간에서 열차의 충돌이나 추돌사고가 발생한 경우 차량의 변형으로 인해 차량한계를 넘는 경우 사고차량의 처리에 장시간이 소요되어, 신속한 사고복구가 어렵다. 이와 같이 파손된 차량의 신속한 해체 및 인근 차량기지로의 신속한 이동을 위해서는 충돌로 전복된 차량을 세우는 장비, 신속한 선로로 이동을 위한 탈선복구 장비와 함께 파손 차량을 신속히 차량기지나 외부로 이동을 위해 필요한 높이가 낮은 평판차량 등의 복구장비 도입의 필요성이 제기되었다. 본 기획연구에서는 열차 충돌사고의 신속한 사고복구를 위한 장비개발 방안을 제시하였다.

4. 터널화재 진압 및 환경피해 복구용 특수차량 개발연구

터널구간에서 화재가 발생한 경우 화재진압 장비는 터널내에 설치된 연결송수관이 유일하다. 그러나 연결송수관의 작동을 위해서는 40분 이상이 시간이 소요되어 화재의 확산 전에 신속한 진압이 불가능하여 구조물 손상으로 인한 장기간의 열차운행중단이 불가피하다. 또한 소방대의 소화장비로는 화재사고 발생지점까지 접근이 어려운 실정이다. 기존에 설치된 연결송수관을 활용한 훈련과정에서 연결송수관의 작동시간과 관련된 많은 문제점이 제기되고 있으며, 터널 화재시 신속한 진압에 실패할 경우 터널구조물의 변형이 발생하여 대구지하철화재 사고와 같이 10개월 정도의 장시간의 운행중단이 발생할 수 있다. 본 기획연구에서는 터널구간에서 발생한 화재사고시 화재로 인한 인명구조와 시설물의 피해를 최소화하기 위한 특수구난 차량을 개발방안을 제시하였다. 선진국에서도 터널 화재에 대비하여 연결송수관 대신 특수구난 차량을 도입하는 추세로, 많은 전문가들이 제기하는 철도터널화재시의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 예상된다.

2절. 기술의 필요성

열차운행속도 향상을 위해 국내에서는 지속적으로 터널 및 교량구간이 증가하는 추세로, 터널 및 교량구간에서 발생한 열차사고의 복구는 일반선로에서 발생한 사고에 비해 보다 많은 복구시간이 소요된다. 철도 터널내에는 전차선 이외에 많은 터널 상부의 구조물과 천정 높이로 인해 사고복구용 기중기의 붐대를 이용한 인상작업에 필수적인 공간의 확보가 용이하지 않다. 터널의 단면이 비교적 넓은 경부고속철도 터널의 경우 전차선을 철거한 경우에도 터널의 높이를 고려하면 기중기의 운영각도가 14° 이내로 안정적인 작업을 위한 공간이 확보되지 않는다. 또한 분기기가 설치되지 않아 터널 단면이 낮은 경우는 기중기 작업이 불가능하다.

철도운영과 관련된 다양한 규정 및 매뉴얼에는 차량고장이나 비상시 터널이나 교량을 피하여 일반선로나 역사에 정차하도록 하고 있으나, 실제로 많은 사고가 터널이나 교량에서 발생하고 있다. 국내의 경우 터널이나 교량의 비중이 높아 위험성이 더욱 높다. 예로서 '11년 광명역 부근 일직터널에서 발생한 KTX 열차 탈선사고의 경우 사고복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 중국에서 발생한 교량내 고속열차 충돌사고는 복구장비가 없어 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하는 방법을 적용하여 많은 비난여론이 있었다. 대구지하철 화재사고나 '11년 일본 홋카이도 터널에서 발생한 열차화재사고의 경우 열차화재로 인한 차량전소는 물론 구조물 손상으로 장시간의 열차운행중단이 유발되었다.

열차사고가 철도터널 및 교량구간에서 발생한 경우 구조물과의 간섭으로 인해 현재 운영 중인 복구장비의 작업공간이 부족하고, 복구장비의 진입이 어려워 복구시간이 증가하고 철도운행 중단시간과 물적, 인적사고의 피해가 크게 확대되는 문제점이 있다. 고속으로 운행하는 차량이 철도터널에서 탈선 및 충돌사고가 발생하면, 이들 사고의 복구는 전용장비를 사용할 수 없어 휴대용 장비를 사용하여 복구하여야 한다. 차량이 파손되거나 충돌로 인해 변형이 심한경우는 차량한계를 벗어나는 부위의 절단이 필요하여 2주 이상의 운행중단이 발생할 수 있다.

국내 철도의 운행환경은 열차운행 빈도가 매우 높은 반면 우회선로가 부족하여, 단순한 사고에도 많은 열차들이 장시간의 운행중단을 유발할 수 있다. 이 경우 사회적 파장이 확대되어 국민의 불편을 초래하여 신속한 사고복구체계 구축과 효율적 복구를 위한 장비개발이 필수적이다. 반면, 독일, 영국, 프랑스, 일본의 경우 다양한 우회선로가 존재하여 특정 지점에서 사고가 발생한 경우 열차를 우회하여 국내보다 사고복구의 시간적 여유가 많다. 이로 인해 선진국에서 철도사고가 발생한 경우 신속한 복구보다는 엄격한 사고조사를 통한 재발 방지대책 마련과 복구과정에서의 작업자의 안전에 초점을 둔 사고복구체

계가 구축되어 있다. 아래표는 국가별 열차운행거리, 선로연장, 여객인km와 이를 선로연장으로 나눈 수치이다. 국내는 선로연장당 열차운행거리와 여객인km가 비교 대상국가중 가장 높은 실정이다. 이는 동일한 선로에 보다 많은 열차와 여객이 있음을 의미하는 수치로 국내는 유럽국가의 수치와는 비교할 수 없는 정도인 8배 정도 높은 운행밀도와 여객수를 갖고 있어 열차사고나 운행장애 발생시 국외 보다 심각한 파장이 있음을 보여준다.

표 1. 국가별 선로연장당 열차운행거리 및 여객수송밀도

국가	운행거리 (억km)	선로연장 (km)	여객인km (억인km)	운행거리/ 선로연장	여객인km/ 선로연장
영국(2010)	5.20	31,630	558.30	16.44	17.65
프랑스(2010)	4.85	46,039	817.50	10.53	17.76
독일(2010)	10.32	33,792	837.02	30.54	24.77
이탈리아(2010)	3.24	16,794	434.74	19.29	25.89
스웨덴(2010)	1.41	11,066	110.36	12.74	9.97
일본(2010)	13.14	27,337	4,044.37	48.07	147.94
대한민국(2011)	2.07	4,148	642.39	49.90	154.88

* 자료 : 유럽국가(유럽철도국 CSIs 2010), 일본 국토교통성(일본 2011), 국토해양부(2012)

국내의 경우 우회선로가 부족하고 열차운행 밀도가 높아 사고발생시 사고복구 시간이 부족하며, 사고복구 지연시 철도운영자는 물론 여객의 피해가 급격히 확대되는 구조적 문제가 있다. 최근에는 열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하는 추세이다. 열차의 충돌·탈선·화재사고가 일반선로에서 발생한 경우 신속한 복구가 가능하나, 터널 및 교량구간에서 발생한 경우 사고복구용 기중기의 사용제한 및 복구장비의 사고장소 접근이 어려워서 사고복구 시간이 2시간 이상 증가하는 문제가 있다. 다음의 표에 국내의 철도 종류별 터널 및 교량구간을 나타내었다. 또한 한국철도공사의 운행노선 및 사고복구장비 배치도와 국내의 수도권 도시철도 운영노선을 다음에 수록하였다. 한국철도공사의 운행노선에는 우회선로가 부족하며, 우회시 정상노선보다 소요되는 시간이 길어 거의 우회운행을 하지 못하고 있다. 고속철도의 경우 비상시 고속열차 전용선로와 일반선로간의 이동을 위한 선로역시 부족한 실정이다. 도시철도의 경우 노선간 열차가 이동할 수 있는 지점이 부족하고, 사고시 해당 선로에 여러 편성의 열차가 존재하는 경우가 많아 사고복구 장비를 이중화하여 선로를 통한 접근과 일반도로를 이용한 접근방식을 동시에 적용하고 있다.

표 2. 철도종류별 터널 및 교량구간의 비중

	터널구간		교량구간		일반선로	
고속철도	153km	41%	114km	31%	102km	28%
도시철도	512km	53%	65km	7%	386km	40%
일반철도	354km	10%	291km	8%	3,815km	82%
계	1,019km	18%	470km	8%	4,303km	74%

* 도시철도 구간에는 철도공사의 광역철도구간(일반철도 구간과 중복)이 포함

자료 : 2012년도 철도안전종합시행계획(국토해양부)

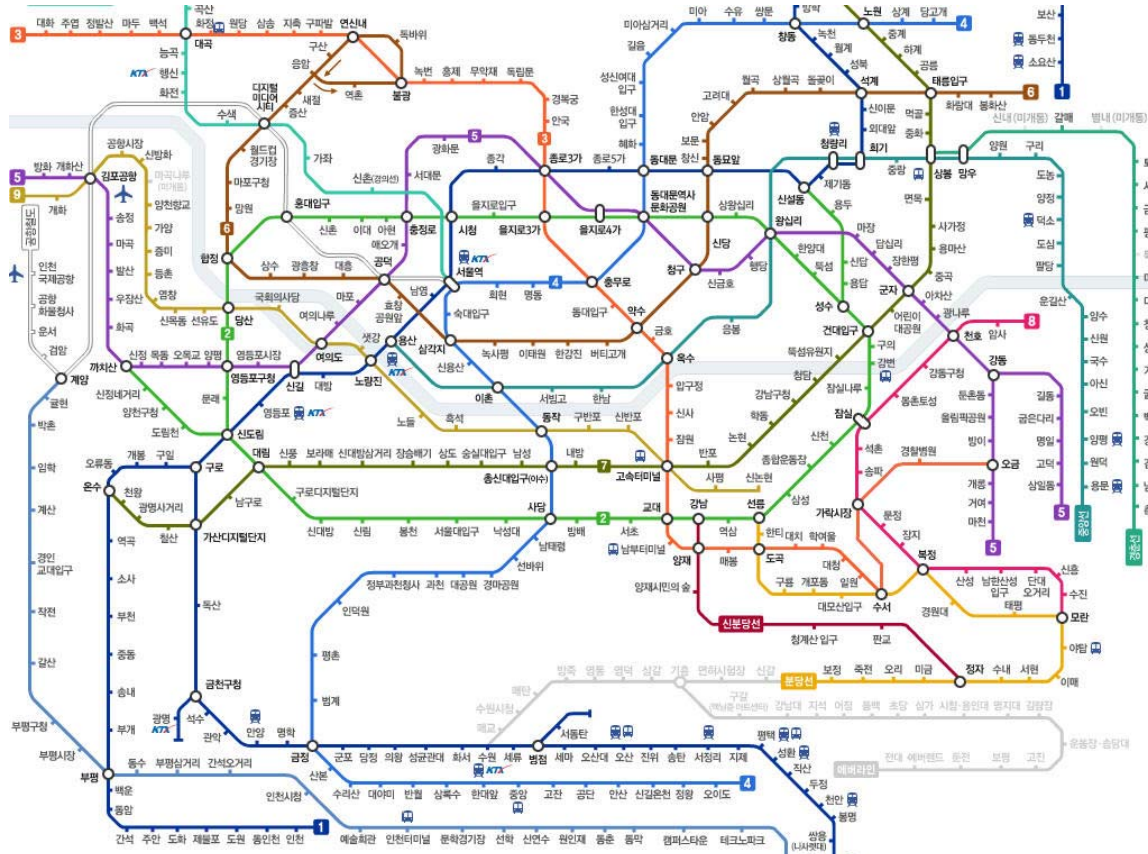


그림 3. 수도권 도시철도 노선도 현황(여객 환승은 가능하나 열차우회는 불가)

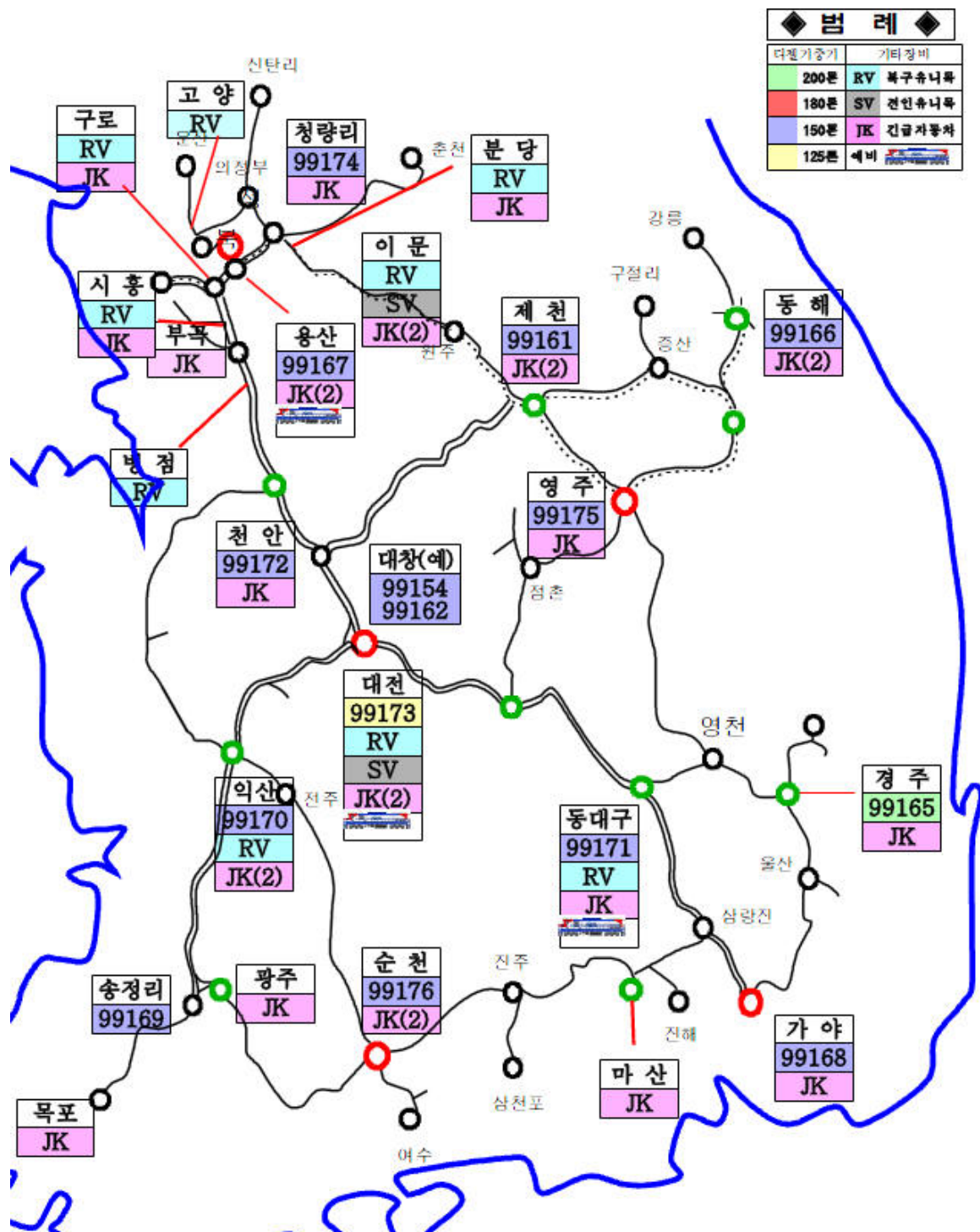


그림 4. 철도공사의 사고복구 장비 배치현황 및 우회노선 현황

열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하고 있는 추세로 터널구간에서 열차의 충돌, 탈선, 화재사고가 발생한 경우에 대비한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 대부분의 연구는 사고예방에 초점을 두고 있으며, 사고 이후 사고복구와 관련된 연구는 없었다. 그러나 2011년 발생한 광명역 부근의 KTX 탈선사고 복구과정에서 사고복구 전문성 및 복구장비의 개발에 대한 많은 필요성이 제기되었다.

현재까지는 열차의 운행중 탈선 및 충돌사고가 발생한 경우 복구용 기중기를 이용하여 복구가 가능하였다. 그러나 터널, 교량, 복합역사의 경우 복구용 기중기 사용을 위한 공간의 제약으로 휴대용 복구장비인 체크키트를 이용하였다. 휴대용 체크키트의 경우 복구 작업자가 사고 현장까지 들고 이동하는 과정에서의 어려움과 복구 과정에서 2차사고 위험성이 높은 문제점이 있다.

사고발생시 복구장비의 출동시간, 복구시간, 투입인력 등을 체계적으로 고려한 복구전략 수립방안과 이를 위한 장비의 개발이 동시에 추진되어야 한다. 국내의 경우 역사 사이의 거리가 비교적 짧아 출동시간보다는 복구시간이 사고복구에 지배적인 영향을 미치고 있다. 복구시간중 파손 및 탈선차량의 처리에 가장 긴 시간이 요구된다. 본 연구에서는 소규모 탈선의 경우 탈선 측당 20분 이내(출동시간 제외)에 복구가 가능한 자동화된 장비를 제안하고자 하였다.

현재 국내에서 운영중인 사고 및 장애 복구장비는 운영기관별로 상이하며, 가장 종류가 많은 철도공사를 기준으로 하면 5개 분야별로 67종 이상의 복구장비를 운영중이다. 여기에는 가대차(복구용 임시 대차), 차종별 지그, 인양 케이블 등 부수적인 장비 및 자재는 제외된 내용이다. 도시철도 운영기관의 경우 유니목, 비상 구원기관차, 체크키트, 비상용 도로자동차 등을 운영중이다.

- 1) 선로복구장비 : 멀티플 타이탬퍼, 레일연마기, 핸드타이탬퍼, 테르밋 용접기 등
- 2) 차량복구장비 : 기중기, 유니목, 체크키트, 유압절단기 등 16종
- 3) 전기복구장비 : 전차선 가선차, 변전설비 진단차, 유압압착기 등 15종
- 4) 신호복구장비 : 광케이블 고장 추적기, 궤도회로용 드릴, 선택전압기 등 12종
- 5) 통신복구장비 : 통신종합 검진차, 광케이블 접속기, 무선통신 검진차 등 9종

서울메트로의 경우 5개 차량사업소(군자, 신정, 지축, 수서, 창동)에서 복구장비를 운영중이며, 사고발생시 최소 2개 이상의 사업소에서 복구장비가 동시에 출동하는 체계를 운영중에 있다.

1. 사고복구 시간에 영향을 미치는 요인의 분석

열차사고시 사고복구 시간에 가장 큰 영향을 미치는 인자를 도출하기 위해 2001년 이후 발생한 전체 열차사고를 분석하였다. 통신, 전기, 신호, 선로에 대한 임시복구는 2시간 이내인 비교적 단시간내에 복구가 완료되었다. 그러나 차량의 전복 및 파손, 탈선된 경우에는 사고차량의 처리에 가장 많은 시간이 소요되었다. 열차 사고 발생시 분야별 복구인력이 동시에 도착하여 복구작업을 진행하는 점을 고려하면 사고복구에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 사고차량의 처리였다. 2011년 광명역 인근에서 발생한 KTX 탈선사고는 사고복구에 30시간 25분이 소요되어 일반적인 탈선사고 복구시간인 2시간 보다 많은 시간이 소요되었다. 또한 온수역이나 9호선에서 발생한 사고역시 사고의 임시복구에 2시간 이상이 소요되었다.

(1) 국내 철도의 열차사고 복구시간 및 영향인자 분석

2001년 이후 2011년까지 총 48건의 열차사고가 발생하였으며, 이중 35건이 탈선사고, 9건이 충돌사고이며, 나머지 4건이 화재사고로 나타났다. 이 수치는 열차사고에 대한 수치이며, 열차번호가 부여되지 않은 차량기지내의 탈선 및 충돌 등을 고려하면 보다 발생 건수는 증가한다. 다만, 차량기지에서의 탈선은 사고복구 장비의 출동시간, 사고복구 장비 운영상의 제약이나, 열차 운행 통제, 여객 대피 등에 대한 고려가 없어 신속한 복구가 가능하다.

철도사고 복구시간에 영향을 미치는 인자는 인력, 환경, 장비, 체계의 4가지 인자로 구성되며, 각각의 인자는 다음과 같이 구성된다.

- 1) 인적요인 : 사고복구 책임자의 의사결정(복구 방법 및 장비결정), 복구경험, 교육
- 2) 환경요인 : 사고발생 장소(터널, 교량, 역사, 산악지형, 사면 등), 작업공간, 사고차량 종류, 복구장비 진입로, 우회선로, 운행밀도, 기후, 온도 등
- 3) 장비요인 : 기중기, 잭키트(Jack kit), 유니목, 구원기 등
- 4) 체계요인 : 안전기준, 매뉴얼, 여객대피, 운행통제, 외부지원, 장비지원, 의사결정 등

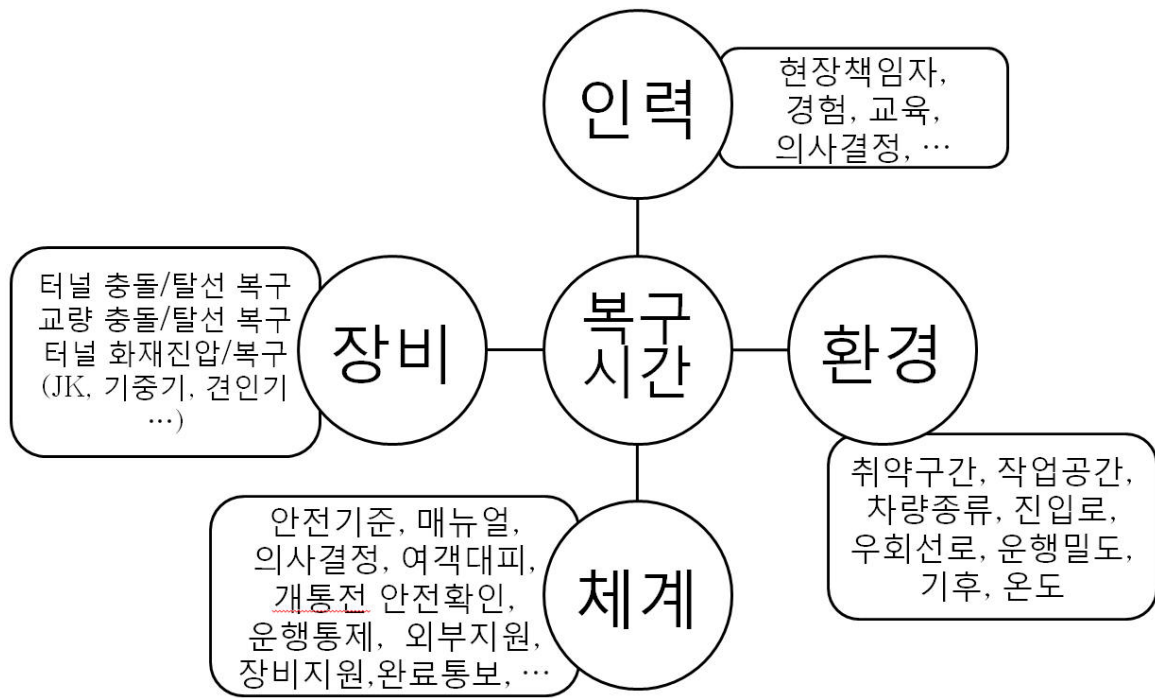


그림 5. 철도사고 복구시간에 영향을 미치는 요인들

(2) 사고통계 및 세부 내역

국내의 철도사고 추세 및 본 과제의 관심 대상인 열차의 충돌, 탈선, 화재 등의 열차사고 발생율은 지속적으로 감소하는 추세이나, 그 피해는 확대되고 있다. 관련 그림을 다음에 수록하였다.

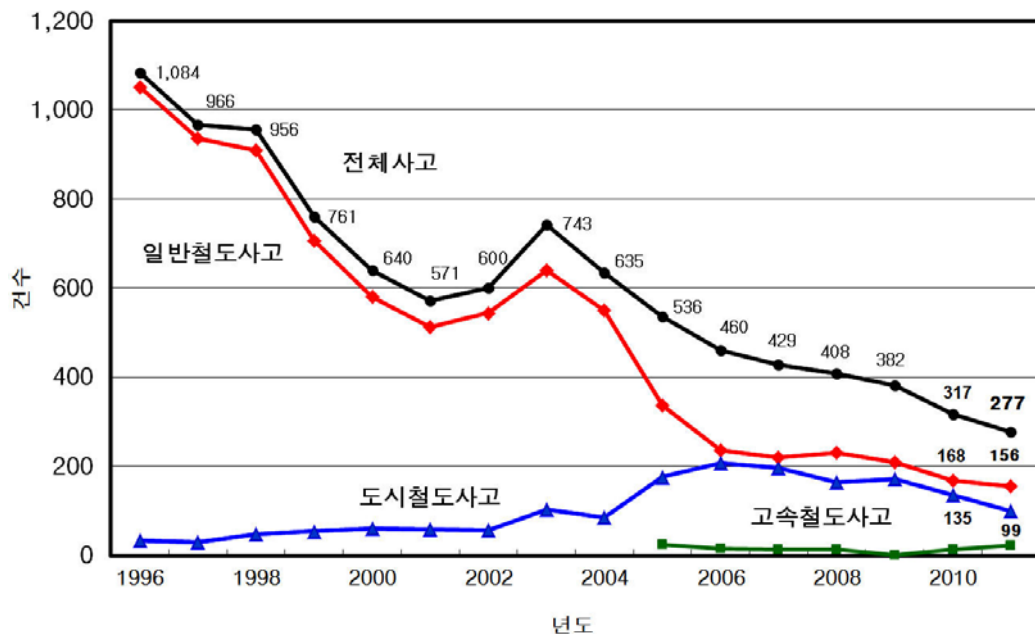


그림 6. 철도종류별 사고발생건수 변화

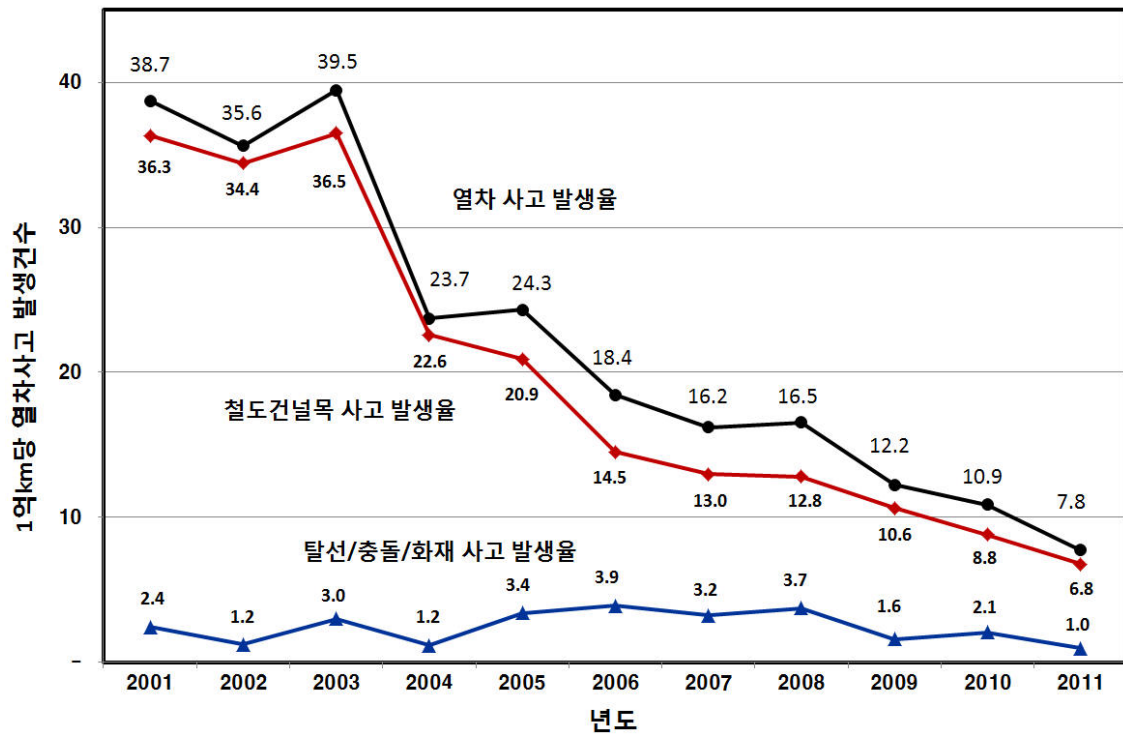


그림 7. 국내의 철도운행중 발생한 열차사고율 변화

다만, 화재사고의 경우 분석을 위한 충분한 자료가 없고, 사고시 다양한 시나리오가 존재하여 별도로 구성하였다. 화재사고의 경우 터널구간의 화재에 가장 취약하며, 대구지하철 화재의 경우 터널 구조물 변형으로 인해 10개월간의 운행중단이 있었다. 터널내 화재사고의 경우 대구지하철 화재참사와 같이 화재가 발생하게 되면, 외부에서의 화재 진압은 어려운 실정이다. 2011년 광명역 인근 터널에서 발생한 KTX 탈선사고의 복구에 30시간 이상이 소요되며, 사회적 파장이 확대되었으며, 2003년 대구지하철 화재사고의 복구에는 10개월이 소요되었다. 이외에 국내에서 발생한 열차사고 48건 전체를 분석한 결과 사고 복구 시간이 소요된 주요 원인은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 1) 철도차량의 다양화에 따른 사고복구 전문성의 부족(관절대차, 틸팅대차, 경전철 등)
- 2) 체계적인 사고복구 의사결정 시스템의 부재
- 3) 기존 사고복구 장비 사용의 제약(터널, 교량, 천장이 있는 복합 민자역사 등)
- 4) 사고복구 및 진압장비의 신속한 접근의 어려움(화재 진압 장비 및 시설 부족)
- 5) 사고 복구 시간 확보를 위한 우회선로 부족 및 높은 열차운행 밀도

이중 사고복구에 가장 취약한 요인으로 지적되는 사항이 터널 및 교량에서 발생한 사고로 현재 국내에서 사용중인 복구장비를 이용할 경우 많은 시간과 인력이 필요하며, 사고 복구 과정에서 작업자의 부상 및 2차사고 위험성이 높은 실정이다.

2. 사고복구 과정의 문제점

100년이 넘는 철도운영 경험을 통해 일반선로에서 발생한 열차사고의 복구에 대해서는 많은 경험을 확보하였으며, 과거에는 사고복구와 관련된 환경이 급격히 변화하지 않았다. 그러나 관절형 고속철도차량의 도입, 틸팅열차의 도입, 경량전철의 도입 등 다양한 차종의 운행과 터널 및 교량구간의 증가는 사고복구 환경을 크게 변화시켰다. 이에 따라 차별화된 복구전략과 전용장비의 도입이 필수적이나, 이에 대한 신속한 대처가 부족하였다.

철도사고복구 체계 및 복구장비는 철도안전기술로 철도사고 이후 신속한 복구를 위한 체계구축과 이를 위한 장비개발로 구분된다. 사고복구체계 구축은 사고복구를 위한 제도 마련, 의사결정, 장비확보, 매뉴얼 등의 문서화, 인력의 평상시 교육 등의 세부적인 기술로 구성된다. 사고복구 장비개발은 터널 및 교량구간에서 발생한 열차사고인 충돌사고, 탈선사고, 화재사고시 신속한 복구가 가능하도록 특화된 장비의 개발로 구성된다.

2011년 광명역 인근 터널에서 발생한 KTX 탈선사고의 복구에 30시간 이상이 소요되어 사회적 파장이 확대되었으며, 2003년 대구지하철 화재사고의 복구에는 10개월이 소요되었다. 이외에 국내에서 발생한 열차사고 48건 전체를 분석한 결과 사고복구 시간이 소요된 주요 원인은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 1) 철도차량의 다양화에 따른 사고복구 전문성의 부족(관절대차, 틸팅대차, 경전철 등)
- 2) 체계적인 사고복구 의사결정 시스템의 부재
- 3) 기존 사고복구 장비 사용의 제약(터널, 교량, 천장이 있는 복합 민자역사 등)
- 4) 사고복구 및 진압장비의 신속한 접근의 어려움(화재 진압 장비 및 시설 부족)
- 5) 사고 복구 시간 확보를 위한 우회선로 부족 및 높은 열차운행 밀도

이중 사고복구에 가장 취약한 요인으로 지적되는 사항이 터널 및 교량에서 발생한 사고로 현재 국내에서 사용중인 복구장비를 이용할 경우 많은 시간과 인력이 필요하며, 사고 복구 과정에서 작업자의 부상 및 2차 사고 위험성이 높은 실정이다.

(1) 인적 피해저감에 초점을 둔 연구로 사고복구관련 연구 부재

현재까지의 철도안전기술연구에서는 열차의 충돌, 탈선, 화재와 같은 대형철도사고예방 및 사고발생시 피해최소화를 위한 연구를 수행하였으며, 2011년 해당 연구과제가 종료되었다. 사고복구와 직접 관련된 연구는 “철도비상대응체계 구축연구”가 유일하며, 간접적으로 연관성이 있는 연구는 “철도사고 위험도평가 및 체계구축연구”가 있다. 이들 연구

는 모두 인명피해 저감과 사고예방에 초점을 둔 연구로 사고복구 체계, 사고복구장비, 장비의 운영 등의 내용은 포함하고 있지 않다. 이들 연구가 국가차원의 연구로 철도사고 복구에 대해서는 과거와 같이 철도운영기관의 역할로 간주하여 관련 연구가 부족하였다. 그러나 최근 국내외 대형철도사고 발생시 운영기관의 자체적인 노력으로 대응하기 보다는 국가차원의 지원이 필요함을 알 수 있다.

(2) 사고복구 전문가의 지속적인 감소

국내에서 대형 인명피해가 발생하는 대형참사는 국내에서 10년 주기로 발생하고 있으며, 철도운영기관별로 혹은 사고대응 당사자별로 30~40년에 한번 경험하는 사고이다. 과거에는 열차사고가 연간 10건 이상 발생하였으나, 철도안전성이 지속적으로 향상되는 추세로 최근에는 연간 열차사고는 2~4건 정도로 발생하고 있다. 반면 사고복구에 대해 전문성과 경험을 갖춘 전문인력이 지속적으로 정년퇴직을 하는 추세이다.

(3) 차종의 다양화에 따른 사고복구 전략 수립필요

철도차량의 다양화에 따른 차종별로 사고복구 시나리오를 구성하여 최적화된 사고복구 전략 수립과 이를 체계적으로 문서에 반영하기 위한 방안 마련이 필요하다. 현재 철도현장에서 운영중인 다양한 매뉴얼, 국가의 안전기준에 철도사고복구 관련 내용이 1줄 정도의 선언적인 내용만 수록되어 매우 빈약한 실정이다. 따라서 이를 활용한 종사자의 교육 및 국가의 위기대응 체계 마련에 어려움이 많아 철도사고 복구 훈련 및 실제 복구 과정의 세부 내용의 체계적인 정리 방안이 필요하다. 이를 통해 사고복구 장비의 간소화, 경량화 등을 통한 사고복구 비상대기 인력의 부담 감소와 장비 유지보수 비용 저감 방안 마련이 가능할 것으로 예상되며, 추가적으로 철도운영기관간 사고복구 장비의 공유에 대한 검토도 가능하다.

(4) 사고복구 장비 사양의 현실화

과거 최악의 시나리오를 가정하여 구축된 사고복구 장비는 높은 사양으로 인해 부피가 커서 터널 및 교량구간에서 사용에 제약이 많아 이용율이 크게 낮아졌다. 향후 지속적으로 터널 및 교량구간 증가에 따른 소형화된 장비 혹은 새로운 형태의 장비 개발이 필요

하다. 철도차량별 하중은 다음과 같이 20톤에서 130톤까지 큰 차이가 있다. 현재까지는 최악의 상황을 고려하여 130톤 이상의 장비를 구축하였으나, 이로 인해 부피가 커져 터널에서 사용이 제한되는 단점이 있다. 그러나 실제 발생하는 대부분의 사고는 운행중인 전동차, 객차, 화차의 탈선으로 50톤 미만의 인양능력으로 복구가 가능하다. 현재 국내에서 운행중인 철도차량의 차종별 하중을 다음에 기술하였다.

- 고속차량 : 동력차 51.8ton(대차 8~8.2ton/개), 동력객차 36.7ton (대차 8~8.2ton/개), 관절대차 22.5ton(대차 7.8ton/개), 중간 관절차량 19.8ton(대차 7.8ton/개)
- 도시철도 전동차 : 동력차 33ton~43ton, 1호선 저항제어 동력차 48ton
- 일반철도 및 구원용 디젤 기관차 : 123 ton
- 일반철도 전기기관차 : 88ton
- 일반철도 화물 전기기관차 : 132ton
- 경전철 : 23~35ton

탈선 및 충돌된 철도차량의 복구시 인양하중은 전체를 인양하는 경우도 있으나 대부분 한쪽만 인양하는 경우이다. 이 경우 차량하중의 50~60%가 복구에 필요하다. 그러나 현재는 최악의 상황을 가정하여 150톤 이상의 인양 능력을 갖춘 기중기를 운영하고 있다. 이로 인해 장비의 사양이 높아지고, 부피가 증가하여 터널과 같은 구조물에서 작업시 활용도가 떨어지는 문제점이 지적되었다. 현재까지 사고복구 장비 전량을 국외에서 수입하고 있으나, 국내의 건설기계 분야에서 다양한 요소기술 개발이 완료되어 모듈화된 형태로 활용중에 있다. 이를 활용한 사고복구 장비 개발이 용이해졌다.

또한 국내 철도 터널 및 교량의 현황을 고려한 복구장비의 사고 장소까지의 진입로 확보, 접근 방안등의 고려시 기존의 대형화된 장비의 경우 제약이 많은 실정이다.

(5) 사고복구 과정의 직무사고 및 2차 사고 예방 필요

작업자의 고령화에 따라 기계화된 장비의 도입을 통해 종사자의 사고복구 작업중 직무사고 위험성을 낮출 필요성이 제기되고 있다. 영국, 프랑스 등의 선진국에서는 기계화된 장비를 이용하여 사고복구 과정에서의 직무사고 위험성을 낮추고 있으나, 국내는 작업자의 경험과 집중력에 의존하고 있는 실정이다. 이로 인해 국내의 다양한 철도안전지표중 종사자의 안전성 관련 지표가 선진국에 비해 크게 뒤떨어지는 것으로 나타났다. 도입된 장비가 국외에서 제작되어 유럽인의 체형에 맞게 설계되어 국내의 작업자가 들고 이동하거나 작업하기에 부적합한 부분이 많이 제기되었다.

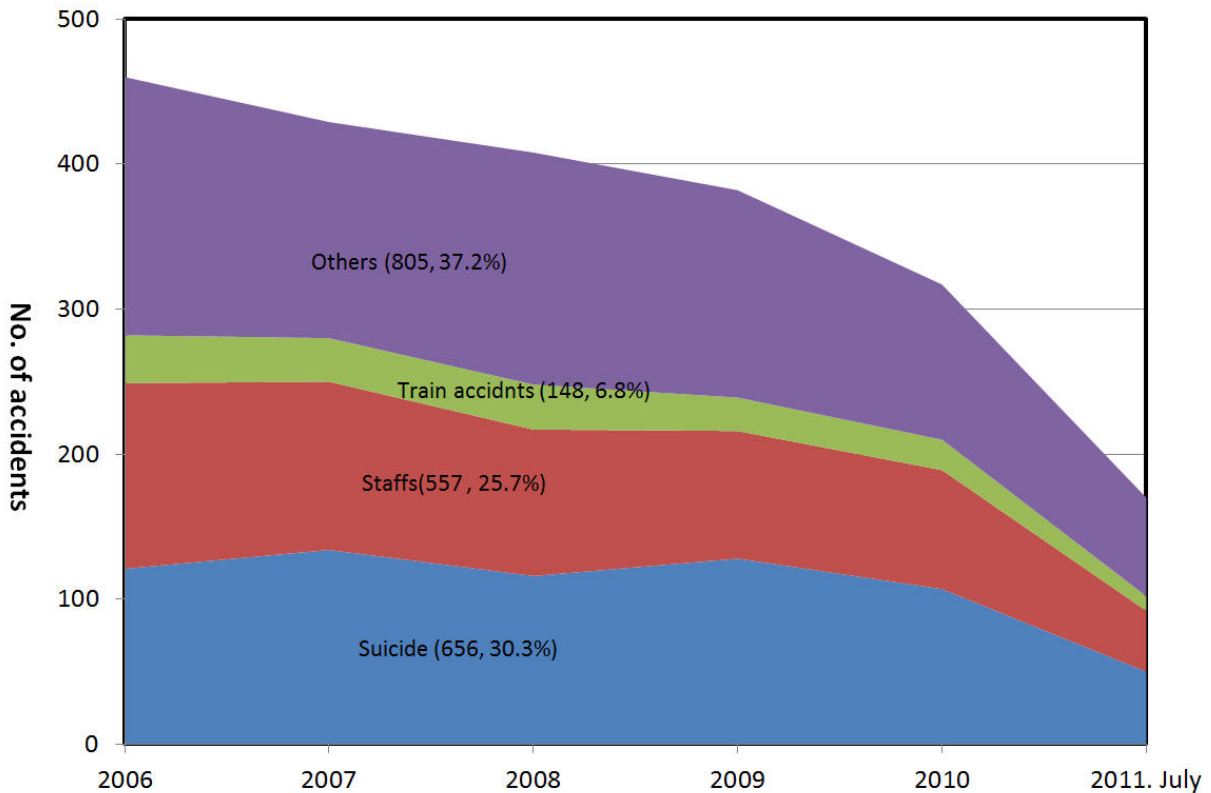


그림 8. 국내의 사상사고중 직무사고의 비중(전체 사고의 25.7%)

사고발생시 악천후, 장비의 능력, 작업자의 경험 등에 대한 충분한 고려가 없이 무리하게 신속한 복구를 추진하는 과정에서 2차사고 및 작업자의 부상 위험이 크게 증가할 수 있다. 국외의 경우 기계장비에 의존하는 반면, 국내에는 작업자의 능력에 크게 의존하고 있어 이에 대한 개선이 요구되고 있다.

(6) 터널화재 진압 장비 부재

현재 철도터널에서 화재사고가 발생한 경우 화재진압을 위한 장비는 연결송수관이 유일하다. 그러나 연결송수관의 유지관리 상의 문제로 인해 평상시에는 연결송수관에 물이 채워져 있지 않는 건식 연결송수관을 운영중이다. 화재사고시 연결송수관을 작동시키기 위해서 송수관에 물을 채우기 위해서는 40분 정도가 소요된다. 그러나 충수시간 동안 화재가 급격히 확산할 우려가 크며, 화재가 확산된 경우 화재를 진압할 장비가 전무한 실정으로, 화재로 인한 터널 라이닝손상 등 구조물의 변형을 초래하여 수개월의 열차운행 중단을 유발할 수 있다. 또한 연결 송수관의 설치 및 운영비용이 고가여서 이를 대체할 수 있는 대안 마련이 요구된다. 또한 유독물질 유출시 중화를 위한 복구장비도 없는 상태이다.

(7) 사고복구 장비의 유지보수 비용 및 인력운영 비용 증가에 대한 부담

사고복구장비는 24시간 비상대기 상태를 유지해야하는 비상구호물자로 복구장비의 운영 인력이 함께 대기하여야 한다. 비상복구 인력의 경우 상시 훈련을 통해 장비 사용에 익숙한 차량사업소 직원이 출동한다. 그러나 철도사고 복구용 기중기의 경우 장비운전면허 소지자가 필요하며, 구원용 기관차에 복구장비를 탑재하고 이동할 경우 디젤면허소지자가 필요하다(국내에는 고속철도, 전기1종, 전기2종, 디젤, 장비의 5개 면허가 시행중). 이와 같이 장비의 유지보수 및 관련 인력의 비상대기로 인해 많은 비용 및 인력운영상의 어려움이 발생할 수 있어 이들 부담을 최소화 할 수 있는 사고복구 장비의 개발이 필요하다.

(8) 터널내 화재안전대책의 실효성 부족

현재 구축중인 다양한 터널내 화재안전설비의 문제점 해결을 위한 화재진압차량개발 필요. 현재 추진중인 철도 터널화재 안전대책의 많은 내용이 기대효과가 중복되고 있으며, 신속한 대응에 문제점이 발견되었음. 이를 해결하기 위한 화재진압차량의 도입 필요하다. 현재 철도터널에 안전설비는 사고예방, 사고피해감소, 대피촉진, 구조구난, 화재진압 등의 목적으로 설치되고 있으며 각 목적별 주요 설비는 비상통신장비, 비상 표지판, 소화기, 방연문, 대피통로, 연직/경사갱, 방재구난지역 등 다양하며, 터널내 설치되는 화재진압 설비는 연결송수관이 유일하다. 그러나, 터널내의 연결송수관은 동파 등의 관리상의 문제로 건식으로 운용되고 있으며 이 경우 물을 연결송수관에 채우는 시간이 40분 이상 소요되어 신속한 화재진압시 어려움이 예상된다. 또한 연결송수관은 화재발생시 소방대가 터널로 진입하여 소방호스를 연결하여 사용될 수 있는데 터널 화재가 발생시 터널화재진압을 위한 특수한 차량 등의 장비 없이 화재터널로 진입하기 어려우며, 설치비용 역시 km당 3억원 정도의 막대한 예산이 필요하다.

터널 구간에 비상 정차한 화재열차의 소화/구난 및 구난역 또는 터널 외부로의 견인 대책이 필요하며, 터널라이닝 폭열, 연기확산 및 건식의 연결송수관의 충수시간 등으로 소방관 진입에 의한 기존 연결송수관 설비의 활용 어려움이 있다. 최근 건설중인 호남고속철도터널의 경우 연결송수관이 제외되어 있는 실정으로, 운행중 화재사고가 발생한 경우 화재진압에 어려움이 예상되어 이에 대한 검토가 요구된다.



그림 9. 국내 철도운영기관별 비상연락망(Hot-line), 매뉴얼 및 비상복구 자재 비치 현황

(9) 국내의 사고복구 체계 및 장비에 대한 개선 요구

2011년부터 국가의 위기대응체계에 대한 전반적인 점검과 개선이 추진중에 있으며, 국토해양부, 철도전문가, 유관부처 합동으로 다양한 점검이 진행되었다. 점검에서는 많은 문제점이 지적되었으며, 사고시 유관기관의 협력체계에 대한 지적이 많이 있었다. 즉, 철도역사, 교량, 터널 등에서 사고발생시 인근의 경찰, 소방대, 의료기관의 지원체계에 대한 전반적인 점검이 다양하게 이루어지는 반면, 사고복구에 대한 체계적인 연구나 검토가 부족하고, 관련된 기준이 없어 일관된 점검이 이루어지기 힘든 문제점이 있다. 이로 인해 점검기관별 혹은 점검자별로 서로 상충된 지적사항이 발생할 수 있어, 현장에서는 많은 어려움으로 작용한다.

3절. 세부과제별 기술정의

1. 철도사고의 효율적 복구를 위한 제도 마련

국내 철도산업은 환경, 기술, 인력면에서 급격한 변화를 겪고 있다. 열차운행 속도 향상을 위해 지속적으로 증가하는 철도터널과 교량구간의 증가와 종사자의 평균연령 증가, 철도 여객의 증가는 철도사고 발생시 신속한 복구를 어렵게 하는 요인이다. 또한 관절형 고속철도차량도입, 틸팅열차, 경량전차, 바이모달 트램 등 다양한 차종이 도입되어 사고 복구시 어려움이 증가하고 있다. 기존의 차량은 분리가 용이하여 탈선 및 충돌시 복구가 용이하였으나, 이러한 관절대차의 경우 분리가 어려워 사고복구에 보다 많은 시간과 장비가 소요된다. 사고복구에 대해 다양한 경험을 갖고 있는 종사자들의 노령화 및 퇴직자가 증가하고 있는 반면, 사고복구에 대해 경험이 문서화 되어 있지 않아 사고복구에 대한 경험이 소멸될 수 있다.

사고복구와 관련된 사항은 현재 철도안전법 및 하위규정에는 선언적인 내용만 기술되어 있으며, 하부의 기술기준인 철도차량 안전기준에는 사고복구를 위한 부품의 설치 등이 포함되어 있다. 그러나, 철도시설안전기준에는 관련내용에 대한 언급이 없는 실정이다. 또한 사고복구와 관련된 사항은 매뉴얼에도 선언적으로만 언급되어 있으며, 세부내용이 기술되지 않아 사고복구와 관련된 체계적인 제도 마련이 필요하다.

해당 과제에서는 다음의 5가지 기술을 제안하였다.

- (가) 사고복구 의사결정 시스템 개발
- (나) 철도사고 시나리오별 복구장비 운영방안 마련
- (다) 사고복구 관련 제도 및 체계 마련
- (라) 사고복구 지원체계 구축
- (마) 터널구간 및 지하역사 화재사고의 진압 및 구난차량 운영방안 마련

과제의 연구결과물은 철도운영기관의 사고복구관련 매뉴얼과 비상대응계획에 반영하도록 하고, 사고복구 장비의 선정과 효율적인 운영방안 마련에 도움을 주도록 하였다.

2. 열차 탈선사고 복구장비 개발연구

국내의 열차사고중 가장 빈번하기 발생하는 사고는 열차탈선로 사고가 터널 및 교량구간과 같이 기존의 복구장비 사용이 어려운 구간에서 발생한 사고의 신속한 복구를 위한 새로운 형태의 장비를 개발하는 연구이다. 기존의 사고복구용 기중기의 작업을 위해서는 전차선의 철거 및 설치가 필요하여, 추가적으로 2시간 정도가 소요되며, 터널 및 교량내 구조물과의 간섭으로 기중기 사용이 어려운 경우도 많다. 또한 현재 도시철도 운영기관에서 주로 사용중인 체크키트의 경우 사고 장소까지 이동중 직원의 부상위험이 높으며, 복구과정에서 안정성이 낮은 문제점이 제기되고 있다.

현재 국내에서 운영중인 탈선복구용 기중기 및 체크키트는 전량 수입에 의존하고 있으며, 고장시 수리가 어렵다. 또한 활용 빈도는 낮으나 비상장비로 복구 장비운영을 위해 많은 비상대기인력과 장소, 장비가 요구되어 철도운영기관의 어려움을 가중시키고 있다.

본 연구에서는 전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의 복구장비 개발방안을 제시하였다. 과거에는 국내의 건설기계산업의 요소기술이 발달하지 않았으며, 국외에서 사고복구 장비가 개발되어 도입이 가능하였으나, 최근에는 국내 건설기계산업의 발달과 국내 철도운행환경 변화(터널 및 교량구간 증가, 관절대차 및 틸팅대차 등 차종의 다양화)로 인해 국외장비의 국내 도입에 어려움이 있어 새로운 형태의 복구장비에 대한 요구가 증가하였다. 본 기획연구에서 수행한 시장조사 결과 탈선복구장비의 개발에 필요한 요소기술은 이미 모듈화 되어 다양한 건설기계산업에서 활용중에 있어, 이를 조합하고, 개량하여 철도사고 복구장비에 도입할 수 있을 것으로 판단되었다. 개발하려는 복구장비는 다음의 요구사항을 충족하도록 제시하였으며, 국내 개발이 가능할 것으로 예상된다.

- 터널내 구조물과 간섭이 없이 사용가능한 사고복구용 기중기
- 지가(Outer trigger) 설치 장소가 부족한 교량에서 사용가능한 사고복구용 기중기
- 열차 탈선 사고 장소까지 신속한 접근이 가능하도록 도로자동차 및 선로로 이동이 가능한 기중기
- 작업중 작업자 부상 및 탈선차량의 파손위험이 낮은 복구장비
- 작업자가 조립 및 분해가 가능한 기중기
- 고속철도, 도시철도, 일반철도 등 차종별 하중을 고려한 복구장비

본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 전차선의 해체작업이 필요없어 사고복구시간을 크게 단축 시킬수 있으며, 터널 및 교량구간에서도 활용이 가능하다. 또한 부피가 작고 별도의 유지보수 비용이 필요 없어 효율성이 높을 것으로 예상된다.

3. 열차 충돌사고 복구장비 개발연구

터널 및 교량구간에서 열차의 충돌이나 추돌사고가 발생한 경우 차량의 변형으로 인해 차량한계를 넘는 경우 사고차량의 처리에 장시간이 소요되어, 신속한 사고복구가 어렵다. 이와 같이 파손된 차량의 신속한 해체 및 인근의 차량기지까지의 신속한 이동이 어려운 경우가 발생한다. 실제 2011년 중국의 교량에서 발생한 고속열차 충돌사고의 경우 신속한 선로개통을 위해 파손차량을 교량 하부로 추락시켜 매장시킨 사례도 있다. 국내에도 이와 같은 사고시 신속한 복구는 불가능한 실정이다.

충돌사고의 효율적 복구를 위해서는 충돌로 인해 전복된 차량을 세우고, 정비가 가능한 인근의 차량사업소까지 신속히 이동하기 위한 방안이 필요하다. 이를 위해 본 기획연구에서는 다음의 연구내용을 제안하였다.

- 충돌로 인해 변형된 차량의 이송을 위한 높이가 낮은 평판차량
- 충돌로 인해 차량한계 이상으로 변형된 부위의 절단을 위한 장비
- 충돌로 인해 전복된 차량을 세우기 위한 대용량 에어백 도입
- 파손차량의 선로이동을 위한 가대차
- 충돌차량을 평판차량 혹은 가대차 장착을 위한 기중기 개발(탈선복구 장비 활용)

본 기획연구에서 제시된 복구장비를 도입할 경우 파손차량의 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축 시킬수 있을 것으로 예상된다.

4. 터널화재 진압 및 구난차량 개발연구

터널구간에서 화재가 발생한 경우 전문기관의 소화장비로는 화재사고 발생지점까지 접근 및 소화가 어려운 실정이다. 또한 기존에 설치된 연결송수관의 경우 소화수가 발화지점까지 도달하는데 40분 가량의 긴 시간이 소요되며, 이 경우 이미 화재가 확산되어 구조물의 변형이 발생된다. 터널 화재의 신속한 진압이 실패할 경우 터널구조물의 변형이 발생하여 대구지하철화재 사고와 같이 10개월 정도의 장시간의 운행중단이 발생할 수 있다. 교량의 경우 2011년도에 발생한 외곽순환 고속도로 중동IC 교각하부에서의 화재사고

인해 4개월 간의 운행중단 사례가 있었다. 본 기획연구에서는 터널구간 및 교량에서 발생한 화재사고시 신속한 진압을 위한 특수구난 차량을 개발방안을 제시하였다. 철도터널에서의 화재사고는 발생 빈도가 낮아 위험물질의 누출로 인한 환경오염 예방, 터널청소 등 다목적으로 활용하도록 개발하는 방안을 동시에 검토하였다.

선진국에서도 터널 화재에 대비하여 연결송수관 대신 특수구난 차량을 도입하는 추세로, 많은 전문가들이 제기하는 철도터널화재시의 문제점을 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해 본 기획연구에서는 다음의 연구내용을 제안하였다.

- 터널내 화재사고 발생시 발화지점까지 자력으로 접근 및 진압이 가능한 구난차량의 개발
- 자체 분무 시스템을 갖추고 있어 화재진압 및 여객 구난에 활용이 가능한 차량
- 터널화재 진압 및 구난용 특수차량의 운영에 대한 기준 개발
- 장비의 활용성을 높이기 위한 다목적 기능의 도입방안 검토(위험물 및 유독물질 유출시 환경오염방지를 위한 기능을 갖춘 차량)

본 기획연구에서 제시된 구난차량을 도입할 경우 철도터널 화재시 신속한 화재진압으로 구조물의 변형을 최소화 할 수 있으며, 선로를 통한 인명구조, 유독물질 중화를 위한 환경 피해저감 등 다용도로 활용이 가능할 것으로 예상된다.

2장. 국내외 동향 및 환경 분석

1절. 국내외 동향 및 환경분석

1. 국외 철도사고 복구 정책

철도사고복구 체계 및 장비는 국가별로 운행특성, 차량특성에 따라 상이하며, 철도시설관리자를 중심으로 복구장비가 운영중에 있다. 단일노선에 복수개의 철도운영자가 존재하는 경우 사고의 책임소재 및 재발방지를 위해 철도사고조사 전문기관, 철도시설관리자, 철도운영자, 분야별 전문가, 정부기관이 참여하는 사고조사 활동을 수행하는 과정에서 사고의 복구에 상당한 시간이 소요된다. 또한 열차운행 빈도가 국내보다 낮고 다양한 우회선로가 확보되어 있어 국내와 같이 신속한 사고복구에 대한 요구는 낮다고 할 수 있다. 이로 인해 실제 유럽의 선진국에서 사고가 발생한 경우 사고복구에 1주일 이상 소요되는 경우가 다수이다. 그러나 일본, 중국, 국내와 같이 열차운행 빈도가 높고, 이용객이 많은 경우 신속한 사고복구가 중요하다. 일본, 프랑스, 영국 등의 국가에서는 다양한 우회선로가 확보되어 있는 실정이다.

영국, 독일, 프랑스, 호주, 미국, 캐나다에서의 경우 터널 및 교량구간의 비중이 작고 열차운행 밀도가 국내보다 낮아 신속한 사고복구에 대한 부담이 적다. 또한 열차사고시 차량상부에 전차선이 없는 제3궤조(Third Rail) 전원공급방식이나 디젤차량을 사용하고 있는 경우 전차선의 해체 및 재설치에 소요되는 시간이 단축될 수 있다. 이 경우 일반 기중기를 이용하면 신속한 복구가 가능하다.



그림 10. 런던지하철의 제3궤조 방식



그림 11. 파리지하철의 제3궤조 방식



그림 12. 미국의 철도사고 복구 현장



그림 13. 미국의 사고열차 이동을 위한 차량

또한 일반적으로 터널 및 교량에는 탈선이 자주 발생하는 분기기를 설치하지 않고 있어 터널 및 교량구간에서 탈선사고 위험은 상대적으로 낮다.

선진국의 경우 사고복구체계는 국내와 같이 철도시설관리자 및 철도운영기관이 자체적으로 운영중이며, 국가에서는 사고복구를 위한 차량 및 시설의 기준을 운영하고 있다. 앞서 설명한 자료와 같이 영국 등의 유럽국가, 미국, 호주와 비교해 보면 국내의 열차운행 밀도가 10배 정도 높은 것을 알 수 있다. 이는 열차사고 발생시 영향을 받는 후속열차가 보다 많음을 의미하며, 사회적 파장역시 크다고 할 수 있다.



그림 14. 중량물 이동용 장비



그림 15. 국내의 중량물 이동시범

유럽연합 및 일본 등의 국가에서는 종사자의 사고복구 작업중 직무사고 위험을 낮추기 위해 기계장비를 활용한 복구를 중심으로 하고 있으며, 60~100kg에 이르는 사고복구용 장비의 이동시에도 아래의 그림과 같은 기계장비를 활용하고 있다. 다음의 그림은 프랑스 SNCF 등에서 사용되는 중량물 이동장비이다. 복구용 장비를 열차사고 장소까지 이동하기 위해서는 계단, 자갈도상, 궤도 등 다양한 장애물을 통과하여야 하기 때문에 이에 적합하게 장비를 개발하여 운행중이다. 현재까지 국내에서는 위의 그림과 같이 작업자가

중량물을 들고 이동하고 있는 실정이다. 위와 같은 다양한 이유로 인해 선진국의 경우 열차의 탈선 및 충돌사고시 여객 구호는 신속히 이루어지고 있으나, 사고의 복구에는 국내보다 장시간이 소요되고 있다. 반면 터널구간에서 발생한 화재의 경우 유럽연합의 많은 국가들은 1950년대 이후 국내의 대구지하철 화재참사와 같은 대형 참사를 경험하여 화재안전에 대해 강화된 대책을 마련하고 있다. 철도터널 특성상 일반 소방대의 화재진압 및 구난이 어렵고, 시간이 지체된 경우 터널라이닝과 같은 구조물의 손상과 변형으로 장시간의 운행중단과 막대한 비용손실이 예상된다. 이에 대한 대책으로 철도터널 구난용 특수차량을 운행하고 있다. 스위스 등 철도터널이 많은 선진국의 경우 철도터널 화재 진압용 특수차량의 세부적인 사양과 요건을 명시하여, 효율적인 화재진압이 가능하도록 하고 있다. 세부적인 사양의 예는 다음과 같다.

- 기존의 장비 차량, 탱크 소화 차량, 및 구조 차량 개념의 보완, 이때 구조 및 터널 소방 분야에서의 새로운 기술이 적용되어야 함
- 장비 차량 및 탱크 소화 차량으로 이루어진 소방 유닛 구성
- 단일 차량 혹은 2개의 차량으로 연결된 열차편성으로 구성된 구조차량의 구성과 이를 통해 소방 작업과 병행하는 서틀차량 형태의 운행을 통한 승객 구조
- 구조 및 소방 작업 시 필요한 모든 자재를 차량 프레임 상단에 수납할 수 있을 것 (터널의 높은 승강장으로 인한 문제점 해결)

영국의 경우 다양한 우회선로가 운영중에 있으며, 터널구간이 국내에 비해 많지 않아 전용 복구장비를 운영하고 있지 않다. 영국의 철도시설관리자인 Network Rail에서 복구장비를 운영하고 있으며, 규모가 큰 탈선사고의 복구에는 1주일 이상이 소요되는 경우가 많다. 이는 철도사고조사에 관한 법률이 강화되어 있어 사고의 원인규명과 재발방지를 위해 신속한 복구보다는 예방활동에 초점을 둔 안전정책의 영향이다. 다만, 철도차량관련 기준에 사고시 효율적이고 안정적인 인양을 위한 세부적인 요구사항이 기술되어 있다.

2. 국외의 사고복구 장비

사고복구 장비는 열차의 충돌 및 탈선사고 복구장비와 화재진압 및 구난장비로 구분된다. 탈선 및 충돌사고 복구장비는 철도차량의 인양 및 차량기지까지의 이동을 위한 장비 등이 있으며, 열차화재 진압 및 구난장비는 구난차량, 차량 운영시스템, 구난을 위한 요소기술로 구성되어 있다. 각각 장비의 설계 및 운영방식이 상이하여 이를 구분하여 다음에 기술하였다.

(1) 열차의 탈선 및 충돌사고 복구장비 현황

철도사고 복구장비는 사용빈도가 매우 낮으나, 사용시 매우 높은 신뢰성이 요구되어 국제적으로 1~3개 업체가 개발하고, 전세계적으로 이를 수입하여 운영중이다. 과거에는 해외 업체의 장비를 도입하여 운영하는데 어려움이 없었으나, 국내 철도 노선중 터널과 교량구간이 증가하여 신규개발 장비가 필요하다. 그러나 국제적으로는 국내와 같은 사례가 많지 않아 해당 장비가 개발되지 않고 있다. 따라서, 이들 장비는 터널과 교량이 많은 국내 실정에 맞지 않고, 이동식 장비의 경우 중량이 무거워 국내의 작업자가 사용중 많은 직무사고가 발생하였다. 또한 철도사고 복구장비는 수요가 많지 않아 국내에서 개발이 되지 않았다. 전량 국외에서 개발된 장비를 수입하여 사용중에 있다. 철도사고에 가장 많이 사용되는 기중기(한국철도공사에 14량 운영, 나머지 기관은 미보유)의 경우 독일과 미국내 2개 회사로 부터 전량수입하고 있으며, Jack Kit(차량사업소별로 1set 운영중, 한국철도공사 28set, 도시철도운영기관별 별도 운영)의 경우 독일 LUCAS 사 등의 장비를 구매하여 사용중이다. 도시철도 차량의 구원 및 복구에 사용되는 다용도 차량의 경우 국내에서는 전량을 독일 벤츠사에서 수입하여 사용중이다.(한국철도공사 유니목 11량, 도시철도운영기관별 별도 운영). 경량전철의 경우 부산교통공사 4호선에서는 기존의 모타카를 개량하여 해당 선로의 운행이 가능하도록 개량하여 사용중이다. 관련 특허는 모두 해외 제작사에서 보유하고 있는 실정이며, 유압관련 부품, 유압제어 부품, 관련 재질, 구동장치 등 각각의 세부적인 요소기술에 대한 다양한 특허가 출원되어 있다.



그림 16. 견인을 위한 체인 및 구동 시스템



그림 17. 유압제어 밸브 및 제어장치



그림 18. 유압장비의 동력발생 장치



그림 19. 유압장치의 실린더 및 연결장치



그림 20. 유압을 이용한 지가(지지대) 장치



그림 21. 중량물의 계단 등의 이동장치



그림 22. 상용화된 다양한 이동식 간이 기중기 형태

철도사고복구 장비는 건설기계 장비와 유사하며, 건설기계 장비의 경우 모든 부분을 자

체적으로 개발하기 보다는 모듈화된 부품을 선택하여 개발 기간 단축과 신뢰성을 높이는 방안으로 추진되고 있다.

국가별로 차이가 있어 사고복구 장비를 전용으로 사용하는 경우도 있으나, 일반 유지보수나 건설에 동시에 사용하는 경우도 있다. 이 경우 다음의 그림과 같이 다양한 전용장비가 사용중에 있다.



그림 23. 선로복구 전용장비



그림 24. 터널내 선로복구 전용장비



그림 25. 침목교환 전용복구 장비



그림 26. 선로용접 전용 복구장비



그림 27. 전차선 보호를 위한 기중기 연결봉



그림 28. 선로작업을 위한 장비개량

(2) 화재진압장비 현황

(가) 오스트리아 철도터널 화재진압/구난 특수차량

오스트리아의 블루텐츠 지역에서 철도터널 화재소화/구난 특수차량이 운용중이며, 지역 소방대와 긴밀한 관계를 유지하며 운영되고 있다. 화재발생시 소방대의 승차는 사고장소의 위치에 따라서 약속된 집결지에서 이루어진다. 또한 블루텐츠, 브라츠, 달라스 또는 랑엔 암 아를베르크 역에서만 이루어진다. 오스트리아 철도차량에는 원격으로 조종이 가능한 소화지원차량을 적재하여 화재를 진압할 수 있도록 구성되어 있다.



그림 29. 오스트리아 철도 화재 소화/구난 차량



그림 30. 철도차량 내부 좌우에 설치된 물탱크



그림 31. 연기 침입 최소 및 구난활동성을 높인 자동문

철도터널의 소화/구난 차량은 아래 그림과 같이 배치되어 운용된다. 그림에서 약자의 내용은 ELC(발전 및 소화탱크 차량), MC(장비 차량), EMC(소방요원 차량), RC(구조 차량)와 같으며, 오스트리아 철도차량에는 무선으로 조종가능한 소화지원차량(LUF)의 활용하여 화재를 진압한다.

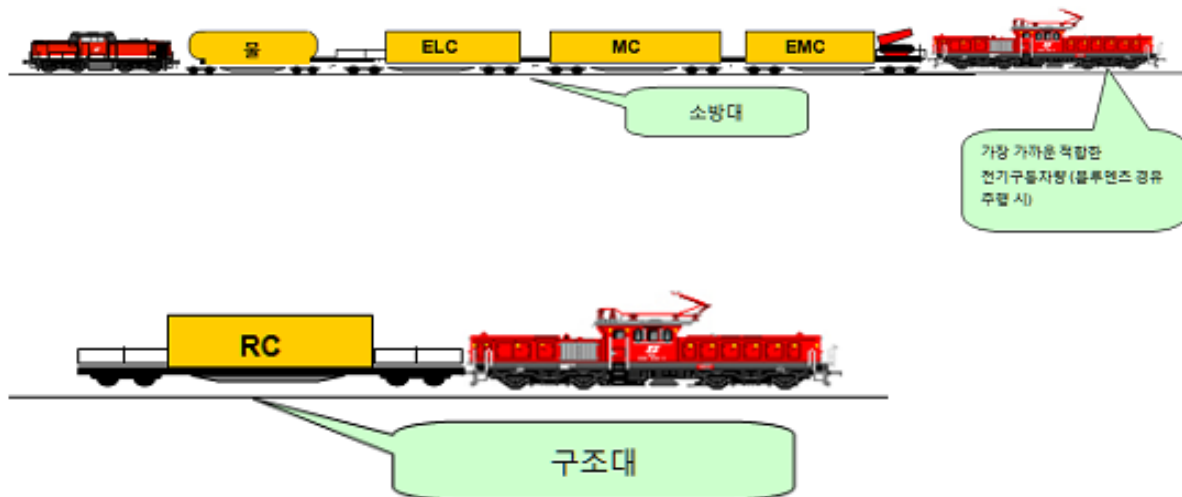


그림 32. 오스트리아 소화/구난 차량 구성



그림 33. 오스트리아소화지원차량

(나) 오스트리아 철도터널 화재진압/구난 특수차량 운용 매뉴얼

국내의 경우 철도터널 화재대응에 대한 세부 매뉴얼이 없는 실정으로, 국외의 화재진압 및 구난 차량 운영에 대한 세부사항을 본절에 수록하였다.

매뉴얼은 1) 소방대 투입, 2) 물공급(충수), 3) 거품 탱크의 충전, 4) 디젤 탱크 충전, 5) 시험 및 투입 후 소화대의 장비 해제, 6) 구조대 투입, 7) 시험 및 투입 후 구조대의 장비 해제 순으로 진행되며, 해당 내용을 다음에 수록하였다.

1) 소방대 투입

- ① 차량채정 해제 : 구조대와 소화대의 모든 문에 맞는 열쇠는 운행지휘자의 열쇠함에 있다. 열쇠 꾸러미에는 외부공급 전기 스위치함 열쇠와 탱크연결 열쇠가 있다.
- ② 소방대의 출동준비
 - 가장 적합한 전기 동력차량(E-Tfz.)과 구급 동력차량 선택
 - 준비 주행 시 맞춤 및 선정된 차량으로 출동 준비
- ③ 소화지원차량(LUF) 적재 경사로 준비
- ④ 에너지 및 소화 컨테이너(ELC)와 물공급차량 대기 관 제거



ELC 전기 공급



물 공급차량
전기 공급

그림 34. 특수 구난차량의 전기공급

- ⑤ 동력차량 연결 및 터널구조대에 의한 브레이크 시험
- ⑥ 소화 컨테이너의 물주입구 연결



소화방향
아를베르크

소화방향
웍트키르히

그림 35. 소화컨테이너와 물주입구 연결

⑦ 소화용수 공급차량의 소화용수 주입구 연결

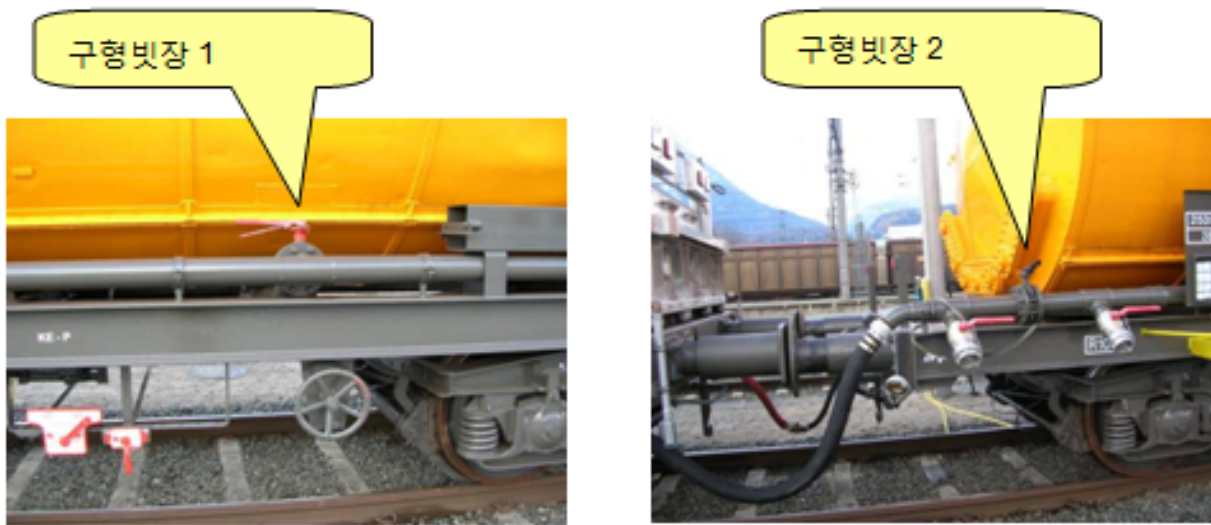


그림 36. 물공급차량과 물주입구 연결

- ⑧ 소화컨테이너의 연결기계 가동 : 내부 조명 작동, 외부 조명 작동, 예열 및 기동
- ⑨ 펌프 가동
- ⑩ 조명 작동
- ⑪ 소화건(소화모니터)의 설치

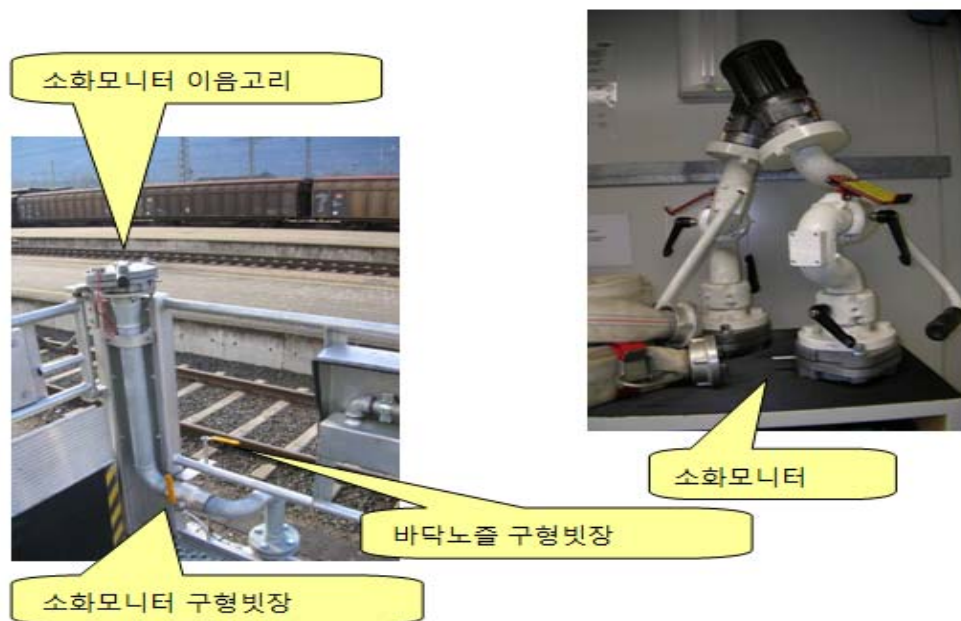


그림 37. 소화건 설치

- ⑫ 모니터 : 터널 진입시 열영상카메라 작동



그림 38. 열영상 카메라 작동

- ⑬ 운전 협의 및 운행명령 실행 : 터널 구조대에 의해 준비된 운행명령 보완
- ⑭ 통신 설정 : 역에서 투입 준비 및 무선으로 운행관제

2) 물공급(충수) : 연결기계 가동 → 밸브 개방 → 공기차단밸브 개방 → 급수

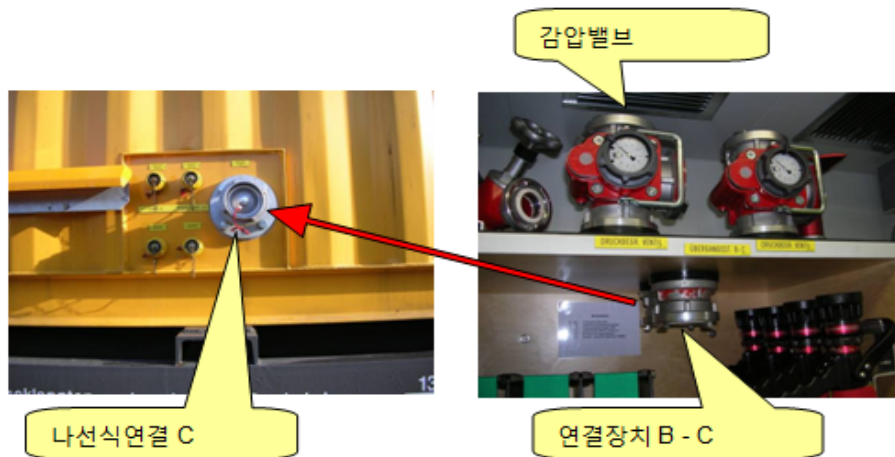


그림 39. 감압밸브 설치

- ⑤ 물 운반차량의 충전 : 구형빗장의 폐쇄 → 충전접합관 개방 → 바닥 밸브개방
- ⑥ 충전소의 운영 : 지역별 급수시설 확인

3) 소화용 거품 탱크 충전 : 사내 소방대에서 수행한다.

4) 디젤 탱크 충전 : 주유소에서 급유

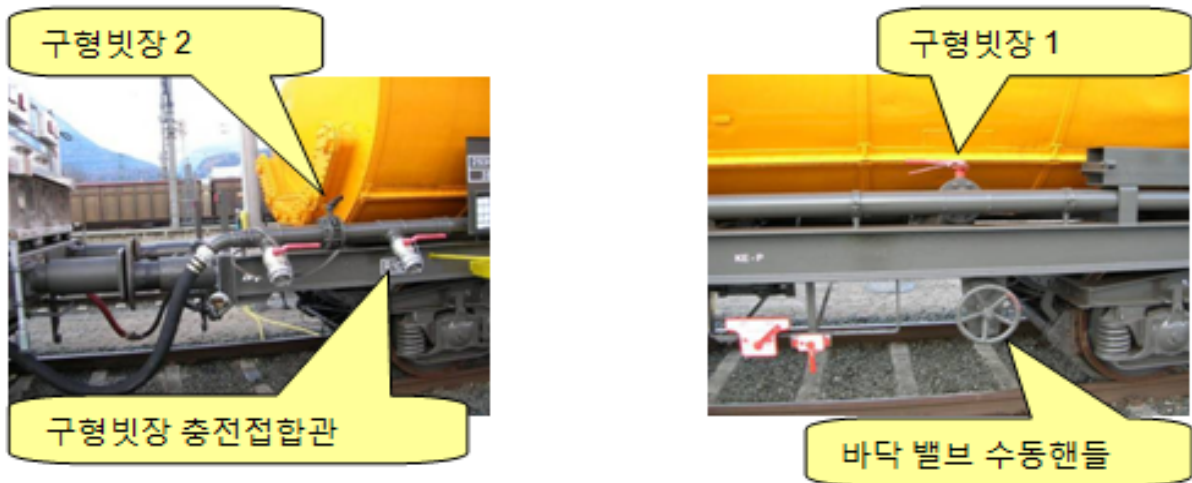


그림 40. 특수구난 차량중 물운반차량 충수

5) 화재진압 훈련 및 훈련 종료후 소화장비 해제

① 펌프 전원 차단



그림 41. 장비 해제조정 레버

· 물-거품 스위치 차단 → 펌프압력조종장치 조절 → 거품 운영 후 세척 → 펌프 배출
→ 전원 차단 → 밸브 공기차단밸브 차단 → 밸브 병목음 차단

② 연결장치 차단, 조명 차단 및 소화컨테이너 등 부속장비 차단

③ 열차 안전 확인 및 장비 보관

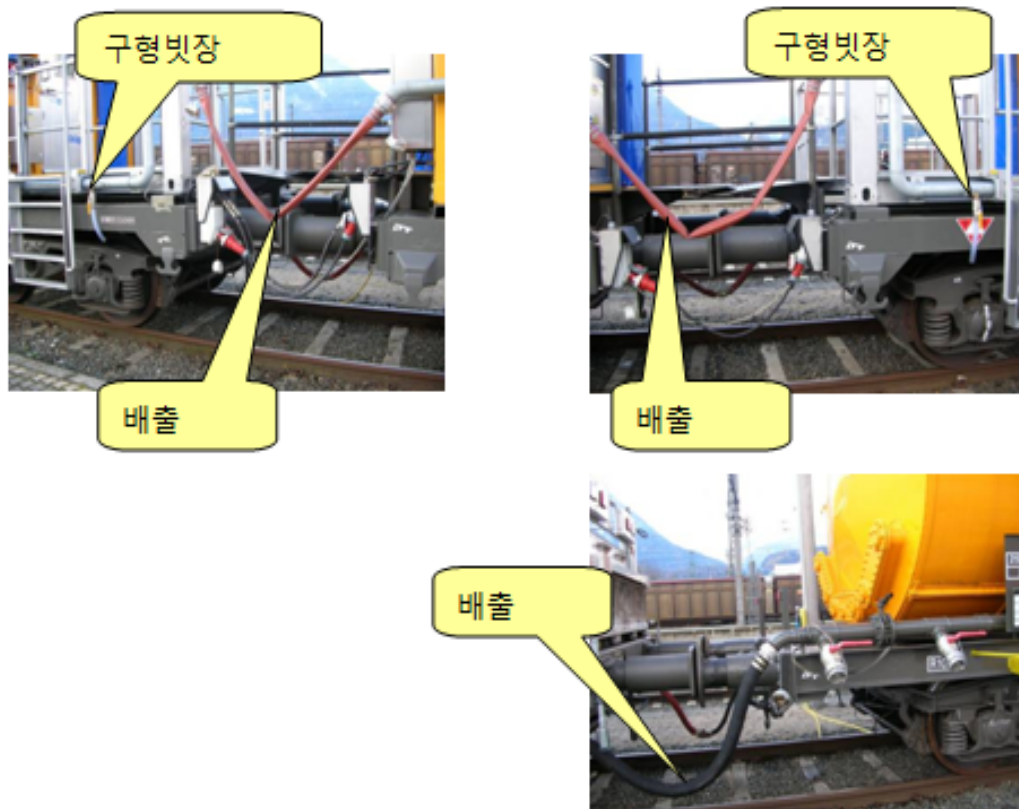


그림 42. 열차 안전장치 작동

- ④ 급수차와 소화지원차량의 대기 관을 연결
- ⑤ 급수차에 „예열시설에 연결“을 설치
- ⑥ 조명을 끈다
- ⑦ 모든 문을 차단한다

6) 구조대 투입

- ① 채정 해제 : 구조대와 소화대의 모든 문에 맞는 열쇠는 운행지휘자의 열쇠함 번호19에 있다. 열쇠꾸러미에는 외부공급 전기스위치 함 열쇠와 탱크 연결 열쇠가 있다.
- ② 구조대의 출동준비



(경우에 따라 Tfz 의 대기 관 제거)



그림 43. 대기 전원 연결

- ③ 대기관을 분리한다
- ④ 소방대를 해당 노선으로 설정
- ⑤ 차량연결 및 제동장치 점검
- ⑥ 연결장치 가동 및 조명 작동
- ⑦ 운행 협의
 - 터널구조대에 의해 준비된 주행지시의 보완
 - 터널구조대 사이의 운행 협의
- ⑧ 소화부대 투입과 같은 언어 연결
- ⑨ 필요 시 응급제동장치의 사용(공기제동장치두부의 사용을 대체)

7) 연습 및 투입 후 구조대의 장비 해제

- ① 해당 노선의 열차정지장소로 위치시킴
- ② 차량을 안전장치를 함
- ③ 연결장치와 조명 확인
- ④ 조명을 끈다
- ⑤ 대기관을 연결한다
- ⑥ “예열장치를 연결” 신호 설정
- ⑦ 모든 문을 차단한다
- ⑧ 소화대를 해당노선으로 출동시킨다
이격거리 약 20m
- ⑨ 차량이동 안전장치를 함
- ⑩ 소화지원컨테이너 및 물 공급차량에 대기 관 연결
- ⑪ 물 공급차량에 “예열장치 연결”을 설정
- ⑫ 열쇠 채정

8) 구조열차 출동 점검목록

- 소방대 구급지휘소에서 구조열차의 요청은 무선호출로 가능하다.
- 해당 사고가 발생한 응급지역의 역무 담당자를 통해 관할 지방소방서가 경보를 발령하고, 소방서 지휘소에 통보하도록 되어 있다.
- 열차 출동에 대한 운전지시에 따라 출동하며, 사고장소까지는 특수차량 편성을 통해 이동하며, 예비 동력차가 포함된다. 터널구조 동력차량 운전자가 이를 운행하며, 터널구조 동력차량 운전자, 소방대 장비(방독면, 무선기, 압지(押紙))의 준비가 완료되면 출발한다.
- 소방대의 승차는 사고장소의 상태에 따라서 지역별로 이루어지며, 추가 인원이 필요한 경우 중간역에서도 탑승이 가능하다.
- 사고장소 앞 역에서 차량 전부의 동력차량을 분리하여 터널 입구까지 밀어서 운행하며, 터널구조동력차량 운전자가 조작하며, 터널구조대가 열차 앞부분에 탑승한다.

(다) 스위스 철도터널 화재진압/구난 특수차량

1960년대부터 개발되어 다양하게 변화되었으며, 이를 단계별로 기술하면 다음과 같다.

① 제1세대 화재진압 및 구조열차

스위스 철도망의 대부분은 오래전부터 터널로 이루어져 있어, 화재시 구난 및 대응을 위

한 차량이 개발되었다. 심플론, 뢰취베르크 및 고타드에서 약 20km 구간의 터널을 통과하여 수많은 여객열차 및 화물열차가 운행해왔고 지금도 운행하고 있다. 긴 철도 터널에서 발생한 사고 및 장애를 처리하기 위해 스위스 연방 철도(SBB)는 이미 1960년대 초부터 승객 구조 및 대피 방법뿐만 아니라 이와 관련된 화재 진화 방법에 대해 연구하여 왔다.

철도 화재소화 및 구조열차의 첫 시험 모델이 운영되기 시작한 것은 1964년부터였다. 이 독특한 열차 차량은 고타드터널 북쪽 진입로의 괴쾨넨에 배치되었으며, 당시 소방관서로부터 큰 관심을 받았다. 이 열차는 당시에 이미 두 개의 차량(구조 차량 및 탱크 소화 차량)으로 이루어져 있었다. 이 두 차량을 사고 현장으로 이동시킬 때에는 디젤 기관차가 이용되었다. 구조 차량에는 저장탱크에 연결된 자체 산소 공급장치가 갖추어져 있어서 구조된 승객이나 터널 관리 인력이 추가적으로 산소 마스크로 중앙 산소 공급장치에 연결하여 산소를 공급받을 수 있었다. 이를 통해 연기가 가득한 터널 내의 공간에서도 구조작업을 진행할 수 있었다. 탱크 소화 차량에는 19,000리터의 소방수가 적재되어 있어서 차량 상단에 부착된 모터 분사 장치를 통해 화재 위치에 분사된다.. 또한 포말 소화장치 1기 및 분말 소화장치 2기(각 250kg)가 장착되어 있었다. 호스 및 강관과 같은 모든 화재 진압 장비는 프레임 상단 박스에 담겨 운송되었다. 그 동안 이 시험 모델에 대한 여러 번의 개조 작업이 이루어졌다. 이 모델은 현재도 운용되고 있으며 루체른에 배치되어 있다.

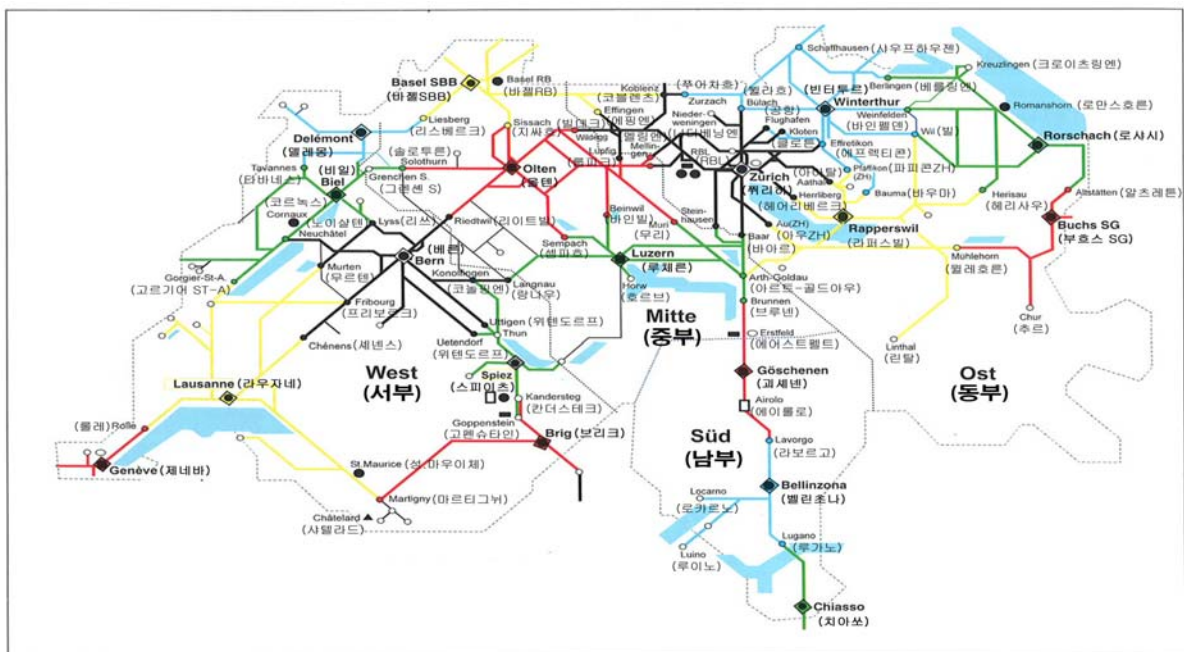


그림 44. 스위스 화재진압/구난 철도차량운영 현황

② 스위스 화재구난 차량의 운영

현재 스위스의 화재구난 차량의 운영 영역은 그림과 같이 출동 범위를 사전에 설정하여 화재사고발생 이후 설정된 목표시간 이내에 도달할 수 있도록 장비를 배치 및 운영하고 있다.

특수구난 차량은 전략적인 차원에서 우선 긴 터널 인근 지역에 배치되었다. 투입 영역은 철도망에서 60분 이내에 도달할 수 있는 곳으로 규정되었다. 새로운 특수 구난차량의 구매 없이 이미 총 18개의 구조열차팀을 운용하고 있으며, 이러한 소방 및 구조열차는 1) 선로 장치 및 터널에서의 소방작업, 2) 위험 물질 사고, 3) 철도 설비에서의 사고 시 공식 사고 구조팀 지원, 4) 충돌 및 탈선 사고, 5) 교량 또는 터널 등과 같이 접근하기 힘든 구역에서의 승객 차량 대피시에 투입된다. 과거에 발생한 심각한 사고에서 특수구난 차량은 수일에 걸쳐 성공적으로 구조작업을 수행하기도 하였다. 특수 구난차량 운용 및 장비를 사용하는 것은 약 800명의 현장 직원에 의해 군사조직과 같은 시스템으로 이루어진다. 스위스 철도터널 화재 진압/구난 차량 설계 조건은 다음과 같다.

- 기존의 장비 차량, 탱크 소화 차량, 및 구조 차량 개념의 보완, 이때 구조 및 터널 소방 분야에서의 새로운 기술이 적용되어야 함
- 장비 차량 및 탱크 소화 차량으로 이루어진 소방 유닛 구성
- 한량 또는 두량으로 구성된 열차를 통한 소방 작업 및 셔틀차량의 운행으로 승객구조
- 구조 및 소방 작업 시 필요한 모든 자재를 차량 프레임 상단에 수납할 수 있을 것 (터널의 높은 승강장으로 인한 문제점 해결)

③ 스위스 철도터널 화재 진압/구난 차량 설계 개념은 다음과 같다.

- 프로젝트 초기에는 기존 특수 구난차량으로부터 출발하여 화력 기관차(디젤 기관차)에 의해 구동되는 기차 개발이 우선되었다. 이 컨셉에는 “소방” 기능과 “구조” 기능을 분리할 수 없는 문제점이 있었다. 왜냐하면 이 경우 디젤 기관차 2기가 필요하기 때문이다. 따라서 이러한 기능을 모두 담당할 수 있는 특수 구난차량을 개발하는 것에 집중하게 되었다. 그 결과 자가 동력차량이라고 하는 개념이 탄생하게 되었다. 그 결과 화력 구동열차 버전, 즉 언더 플로어에 구동 유닛이 배열된 범용 구동 차량이 선택되었다.
- 새로운 개념으로 도입된 특수 구난차량은 화재 발생 중심부까지 진입할 수 있으며 정확하게 소방 작업을 진행함과 동시에 셔틀 운행을 통해 인명을 대피시킬 수 있게 설계 되었다.
- 제약 없이 양방향으로 운행할 수 있는 차량 또는 열차편성으로 이루어진 차량편성이 요구되며, 현장 투입시 문제 없이 분리되어 독립적으로 움직일 수 있어야 했다.

- 특수구난 차량은 2개의 독립적인 차량으로 구성된다
 - 장비 차량 및 탱크 소방 차량으로 구성된 소방 차량
 - 하나(SBB) 또는 두 개(BLS)의 구조 차량으로 이루어진 구조 차량
- 구난차량의 편성은 유닛은 함께 연결되어 투입 장소로 이동한 후 필요에 따라 분리된다. 소방용수 탱크차량에 실린 소방수 용량이 감소되지 않도록 탱크 소방 차량에는 자가 구동장치가 설비되지 않으며 그 대신 기관실이 구비되었다. 소방 유닛은 관리 및 정비 목적으로만 분리되었다.
- 이러한 컨셉에는 특수 구난차량이 추가 조치 없이 연결되고 소화장치가 있는 차량이 선두에서 투입 위치까지 이동한다는 큰 장점이 있다. 이때 출발역에서는 경우에 따라 최소한 조정 조작만 필요하다.



그림 45. LRZ 차량 투입 개념도

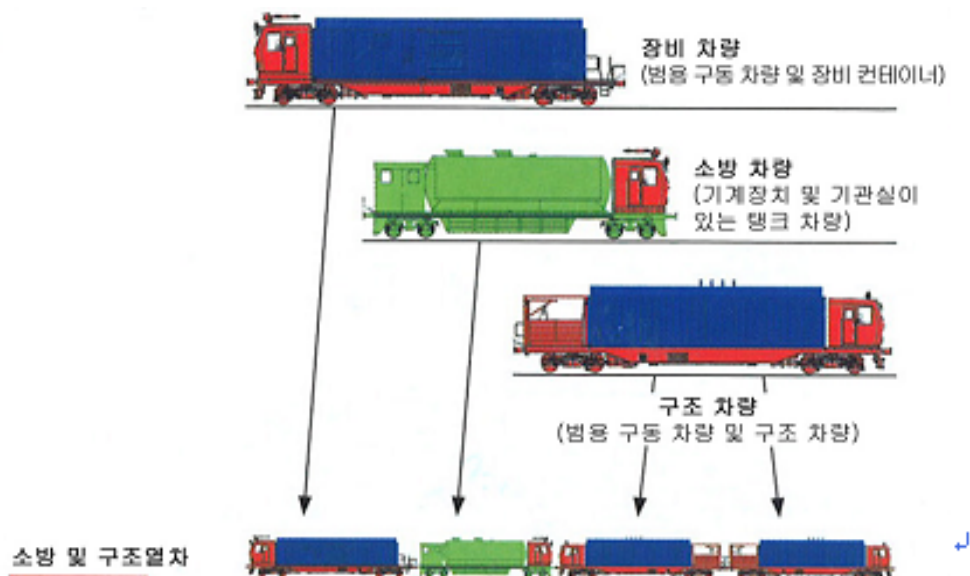


그림 46. 새로 도입된 화재진압 특수구난 차량의 개요

④ 소방 유닛 철도차량의 구성

- 차량의 한 면에는 루프 위에 배열된 소방펌프 및 기타 소방 장치용 컨트롤 패널이 내장된 조정실이 있다. 이 조정실은 평상시에는 일차적으로 화재 진압을 위한 조작실로 기능을 한다. 소방수 또는 소방수와 포말 혼합 소방수는 탱크 소화 차량에서 소방수 또는 포말 분사기 또는 차량 전면부에 있는 연결부로 전달된다.
- 장비 차량에는 2개의 규정 컨테이너로 구성된 부착 장치가 있다. 이 부착 장치에는 50kVA 출력의 비상 전원 공급장치, 분당 1,000리터 출력 성능의 산소 컴프레서 및 기타 소방 장치가 들어 있다.
- 탱크 소방 차량은 용량이 50m^3 인 비상용 소방수 탱크 1개로 구성된다. 여기에는 1.5m^3 용량의 포말 물질 및 100리터의 CAFS 장치용 포말이 담겨 있다. 이 장치에 대해 더 상세히 알아보도록 하겠다. 장비 차량 맞은편에는 기관실과 조정실 및 소방 장치 컨트롤 패널이 장비 차량과 동일하게 설비되어 있다. 다른 면에는 장치 플랫폼과 디젤 모터 및 10bar의 압력에서 분당 6,000리터 분사 성능을 보이는 소방수 펌프가 설비되어 있다.
- 양쪽 차량의 기관실에는 자가 보호 및 냉각을 위해 워터 커튼 방식의 조정식 자가 방호 노즐이 설비되어 있다. 또한 각 차량은 소방 호스 연결부(소방수, 포말, CAFS)가 부착되어 있다.



그림 47. 탱크 소방차량, 자가 방호 노즐이 구동되는 모습

⑤ 구조 유닛 철도차량의 구성

- 특수 구난차량(보조 기관실 포함)은 독립적인 유닛 또는 다른 차량과 연결되어 운용될 수 있다. 소방 유닛(장비 차량 및 탱크 소방 차량)에 의한 화재 진압 시에는 구조 유닛은 분리되어 각 60명의 인명을 구조 차량에 싣고 서둘러 운행할 수 있다. 들것에 실린 중상자 구조를 위해 구조 차량 컨테이너에는 산소 마스크 연결부가 있는 해당 스탠드가 설비되어 있다.

- 구조 유닛은 길이 21m, 중량 60ton의 차량과 기관사를 위한 독립된 공간 및 약 14m 길이의 가벼운 과압 상태로 설정된 구조 컨테이너로 구성되어 있다. 구조 차량의 베이스 프레임에는 모든 필요한 설비가 있는 구조 컨테이너가 설비되어 있다. 동일한 구조 장비가 설비된 구조 차량은 1) 구조 플랫폼 및 계단(외부), 2) 구조실, 환기가 잘되는 공간으로 들것에 실린 부상자 또는 60명의 인원을 서 있는 상태로 수용, 3) 구조 플랫폼과 구조실 사이의 에어록 공간으로 구성된다.
- 구조 컨테이너에 탑재되거나 승차시 특수 승차대 모듈로 탑재가 가능하다.



그림 48. 구조 컨테이너의 내부 전경

⑥ 화재진압 장비의 구성

- 다양한 상황 시나리오에 따라 LRZ 차량에는 다양한 소방 기술이 구비되어 있다. 소방 시스템은 탱크 소방 차량 및 장비 차량에 장착된다. 루프에는 2,400 l/min 및 약 70m 거리까지 분사되는 소방 펌프가 하나씩 장착되어 있다. 각 차량 전면부에는 4개의 호스 연결부(하나는 포말용, 2개는 소방수, 하나는 CAFS용)가 설비되어 있다. 차량 전면부는 또한 자기 방호 노즐에 의해 냉각된다.
- 상호 보완하는 3개의 소화 시스템이 사용되고 있다:
 - 소방수, 호스 및 루프의 소방 펌프
 - 포말, 호스 및 루프의 소방 펌프
 - Compressed Air Foam System (CAFS), 호스

- 탱크 소방 차량에는 약 50,000 리터의 소방수, 포말 및 CAFS 포말이 실리게된다. 추가로 예비 포말 성분이 캔에 담겨 탑재된다. 전체 소방 장치는 기관실에 장착된 컨트롤 패널에 의해 제어되고 모니터링이 가능하다.

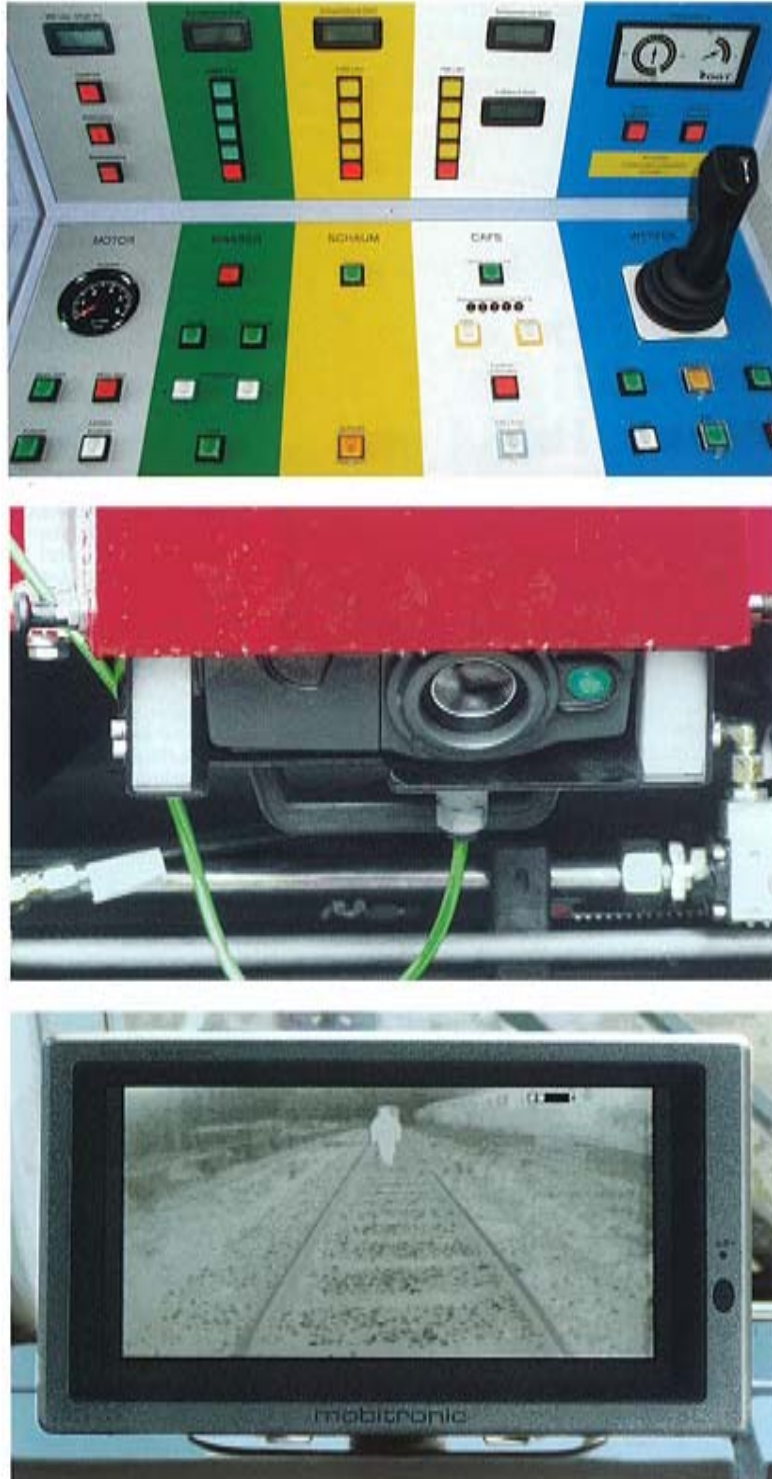


그림 51. 화재구난 특수차량의 특수기능
소방장치 컨트롤 패널(상), 열감지 카메라(중), 모니터(하)

- 특수 구난차량의 안전 기술 장비의 하나로서 또한 열감지 카메라가 장착되어 있다. 이를 통해 연기가 심하게 발생하는 상황에서도 사람이 명확하게 감지되어 연기가 많이 나는 환경에서의 소방 작업 중에도 기차가 사람에게 피해를 입히지 않으면서 안전하게 이동할 수 있다. 이 카메라는 각 차량 전면부에 장착되거나 차량에서 분리되어 케이블 연결을 통해 이동식으로 사용될 수 있다.

⑦ 산소 공급장치

- 구조 인력과 구조 대상에게 산소 공급이 원활하게 이루어져야만 성공적인 구조 작업이라 할 수 있다. 따라서 산소 공급장치는 LRZ의 구조장비 및 장치의 핵심적인 구성 요소이다. 이 장비는 장치 및 구조 컨테이너에 추가로 Dräger Safty Schweiz 주식회사에 의해 장착되었다.
- SBB가 운용하는 특수 구난차량에는 96개의 50 리터 산소 탱크(주입 압력 300bar)가 차량 전체에 분산되어 장착되어 있다. 이는 약 1,400,000 리터의 산소량에 해당한다. 이를 통해 약 60-120명에게 주변 상황과 관계 없이 몇 시간에 걸쳐 산소를 공급할 수 있게 된다.
- 구조 차량의 장비는 주로 가스 밀폐 구조 컨테이너와 에어커튼 장치 및 진입로의 에어록 장치로 이루어져 있다. 이를 통해 차량 마다 최대 60명의 승객(기립 상태)이 수용될 수 있다.



그림 52. SBB의 새로운 소방 및 구조열차

- 전체 기관실은 중앙 산소 공급장치로부터 약간의 과압으로 산소를 공급받아 현장의 연기가 기관실에 들어오지 못하도록 설계되어 있다. 만일 그림에도 불구하고 외부 연기가 들어왔을 경우(예: 문을 열었을 때)를 대비하여 연기 환기 필터 장치 및 산소 마스크 연결부가 구비되어 있다.
- 장비 차량의 주입 패널을 통해 산소 탱크에 산소 공급망의 압력 레벨로 주입할 수 있다. BLS가 운용하는 LRZ 차량의 특징은 소위 말하는 부스터(Booster) 기능이다. 이를 통해 LRZ 차량의 산소 공급망 압력 레벨보다 높은 압력으로 산소가 압축될 수 있다. 이를 통해 산소 공급장비를 사용하는 소방관들이 빈 산소 탱크를 직접, 즉 산소 탱크 교체 없이 주입할 수 있다.

⑧ 스위스 특수차량 운용시간

- 기지에서 출발시간(일부제외)의 경우 5분 이내 출발(work), 15분 이내 (picket)
- 취리히 기지는 모든 시간대에 5분 이내 출발을 목표로 하고 있다.

⑨ 스위스 취리히본부 특수차량 운용편성 구성

화재진압 특수차량의 운용편성은 화재규모에 따라 1) 소규모 사고, 2) 중형사고, 3) 대규모 사고로 구분하여 인력 및 장비를 편성하여 운영중이다. 다음에 규모별 편성을 나타내었다.

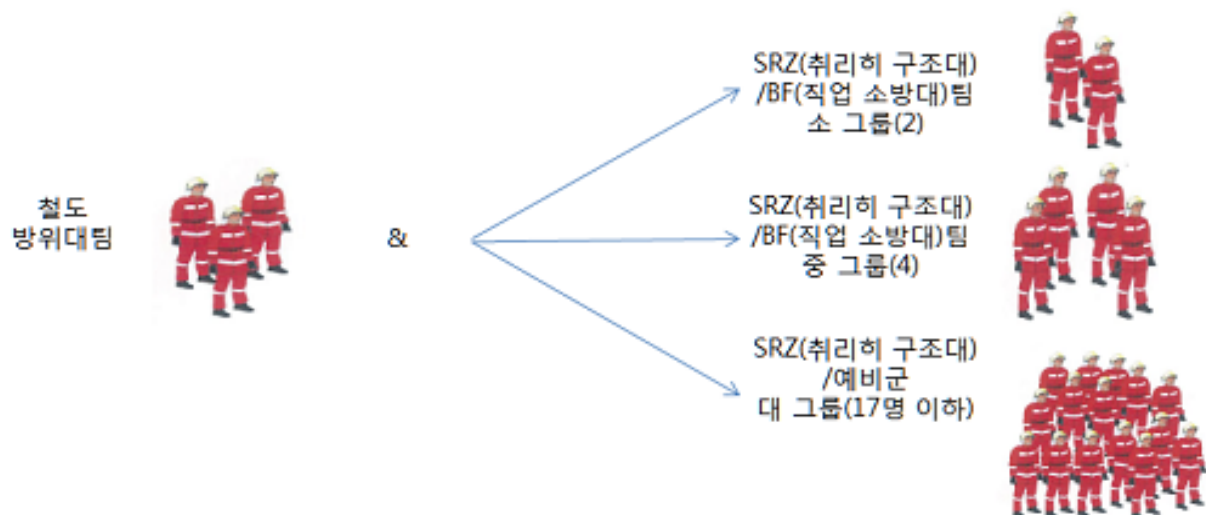


그림 53. 스위스 특수차량 운용편성구성

1) 소형 사고

인명의 대피, 사상사고, 연료 등 기름 유출사고, 구호지원, 인명 사고 없는 탈선, 화재 경보 시스템 서비스 등에 해당하는 경우이다.

LRZ KLEIN

Team BW



&

Team SRZ/BF
KLEIN (2)



그림 54. 소규모 사고시의 출동유형

2) 중형 화재사고

해당되는 사고에는 선로 근처의 화재, SBB 건물 화재, 열차 안 화재(터널 밖), SBB 구역에서 발생한 연료누출사고의 지원, SBB 건물 대피 시 지원, 열차 충돌이나 선로에서 이탈한 후 위험 물체 제거, 인명 피해가 있는 탈선사고시에는 다음과 같이 출동한다.

LRZ MITTEL

Team BW



&

Team SRZ/BF
MITTEL (4)



그림 55. 중형사고시의 출동유형

3) 대형사고

운행중인 열차내부의 화재, 터널관련 화재, 열차의 충돌로 인해 5명 이상의 인명피해가 발생한 사고, 충돌로 인해 열차가 탈선한 사고나 위험물 관련 사고

LRZ GROSS

Team BW



&

Team SRZ/MILIZ
GROSS (>17)



그림 56. 대형사고시의 출동유형

표 3. 스위스 화재진압/구난 특수차량 기술 정보

	장비 차량	탱크 소방 차량	구조 차량
선로 폭	1,435mm	1,435mm	1,435mm
범퍼 위 길이	21,060mm	17,440mm	21,060mm
최대 폭	2,950mm	3,106mm	2,890mm
선로 상단 모서리 위부터 전체 높이	4,450mm	4,450mm	4,450mm
회전장치 축간 거리	2,500mm	1,800mm	2,500mm
재 질	스틸	스틸/스테인레스(탱크)	스틸
차량/출력 단위 피구동축	2x315kw	-	2x315kw 4x315kw
밀림 방지장치	있음	있음	있음
미끄러짐 방지장치	있음	없음	있음
연료탱크	800l	-	각 800l
회전장치 평균 간격	14,500mm	12,400mm	14,500mm
휠 직경 신규/사용	890/840mm	920/840mm	890/840mm
브레이크	각 축마다 2개의 통풍장치 부착 디스크 장착	플라스틱 패드 Jurid	각 축마다 2개의 통풍장치 부착 디스크 장착
운용 중량	62.3t	40.8t	60.0t
추가 중량	10t	약 50m3	12t
전체 중량	72t	90t	72t
최대 속도/평지(단위)	100km/h	100km/h	100km/h
최소 속도/27% 출력(4량 기차)	55-60km/h	55-60km/h	55-60km/h
탱크 내용물 소방수/포말 물질/CAFS	-	약 50/1.5/0.1m3	-
비상용 탱크 히터	-	5,000W	-
전기장치	24V	24V	24V
산소 용량	540,000l	360,000l	각 540,000l
산소 최소 사용 가능 시간	4.5h	4.5h	4.5h
소방수 펌프/10bar	-	6000l/min	-

(라) 러시아의 철도터널 화재 진압차량

러시아에서도 철도터널의 화재 진압을 위한 차량이 운영중이며, 특수차량의 구성도를 다 음에 수록하였다.

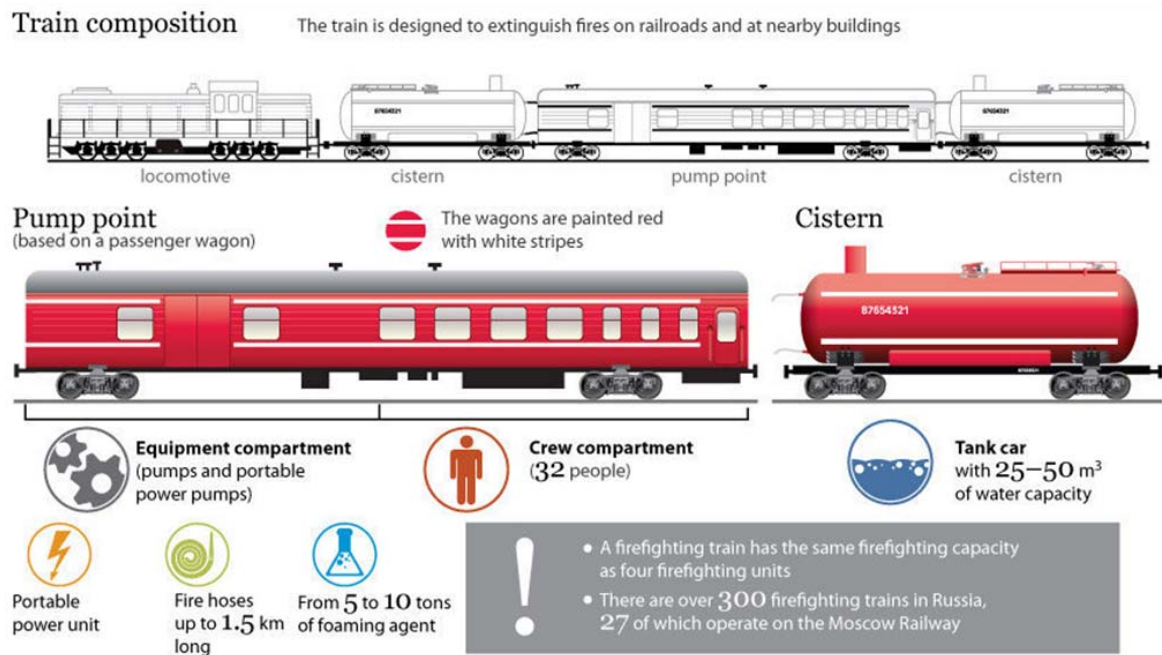


그림 57. 러시아의 철도터널 화재진압 및 구난용 특수차량 구성도



그림 58. 러시아의 철도터널 화재진압 및 구난용 특수차량 시연(2011년)

(마) 철도터널 화재사고, 방재설계 사례 및 기준

1) 영불 해저터널 화재사고

총 3건의 화재사고가 발생하였으며 큰 화재사고는 1996년과 2008년에 발생했다.

• 1996

터널의 400m 구간이 손상을 입었다.(콘크리트로 0.4m부터 0.02m 까지) 트랙은 500m 가 재배치, 800m의 현수선/냉각파이프 교체, 1500m의 신호 장비 손상, 4개의 승객을 위한 비상구가 교체, 열차는 탑재된 트럭과 함께 400m의 구간에서 연소됐다.

1996년의 손실 교통량 : -60% (5달)

1996년 11월 18일 프랑스에서 영국으로 가는 HGV열차에서 화재가 발생하였다. 화재는 화물을 탑재한 열차가 터널 입구로 가기위해 프랑스 쪽 터미널을 통과한 뒤 시작되었다. 시작되었다. 프랑스 쪽 영국 쪽으로 출발한 화물열차가 터널을 들어갈 때, 한 화물차량에서 연기가 나고 있었다고 한다. 즉, 이미 화물차량에 불이 붙은 채로 채널터널에 진입하였다. 화물열차의 경우, 시동을 끈 채로 화물열차를 열차 위에 두고, 운전자와 동승자는 모두 기관차 뒤에 있는 휴게차량에 들어가서 휴식을 취하거나 음식을 먹기도 한다. 따라서 아무도 화물 열차에 타지 않았고, 시동도 꺼진 상태로 터널에 들어갔다고 받아들여지고 있다. 화염은 보안요원들에 의해 열차가 지하로 들어가기 전에 즉시 감지되었다. 경보를 울렸으나, 기관사에게 열차에 불이 붙었을지 모른다고 알릴 때 열차는 터널로 진입하였으며, 기관차의 운전자는 열차를 반대쪽 끝에 도달할 때까지 운전을 시도하였으나, 프랑스 쪽 터널 진입부에서 약 18km 지난 후에 서게 되었고, 약 20분 후 뒤 연기가 가득 해지자 승객과 승무원들은 서비스 터널로 탈출을 하였다. 화재로 인한 사망자는 없었으며, 7명의 사람이 연기의 흡입으로 인한 고통으로 병원에 후송되었다. 화재는 기관차를 비롯한 10대의 HGV를 파괴하였으며 터널의 약 1km구간의 주요 시설을 파괴하였다.

• 2008

터널의 650m의 구간이 손상, 1000℃가 넘는 온도, 800m의 열차의 대부분과 함께 화물도 손상을 입었으며, 화재는 16시간동안 지속되었다.

손실 교통량 : -50% (4달)

2008년 9월 11일 프랑스를 향하는 HGV 열차에서 발하였다. 화재는 16시간동안 지속되었으며 온도는 1000℃까지 도달하였다. 32명이 열차에 타고 있었으며 연기 흡입 등으로 인한 경미한 부상으로 14명의 사람이 병원으로 후송되었다. 9월 13일 손상을 입지 않은 남쪽 터널은 운행을 개시하였으나 하나의 터널에서 방향을 교환해 가며 사용하는 방식으로 서비스의 제공이 제한되었다. 약 650m 의 구간이 손상을 입었으며, 완전한 서비스는 2009년 2월 에 다시 시작되었고 피해 복구에 6000만유로의 비용이 사용되어졌다.

화재는 2008년 9월 11일 13:57 경에 북쪽 터널의 프랑스쪽 터널 입구로부터 11km지점에서 보고되었다. 화염은 저녁까지 다른 트럭으로도 번져 6개의 화차와 하나의 기관차를 파괴시켰다. 서틀은 27개의 자동차를 운반하고 있었다. 화염은 밤새 지속되었으며 다음날 06:00에 소화 된 것으로 보고되었다.

2) 해외 장대철도터널 방재설비 설계 현황

아래의 표는 해외 장대 철도터널의 방재 현황을 보여주고 있다.

표 4. 주요 국가의 장대 철도터널의 방재현황

터널 이름	Seikan	Channel	Gotthard Base	Koralbm	Arlberg
국가	일본	영국, 프랑스	스위스	오스트리아	오스트리아
연장	53.85km	50.45km	57.104km 57.017km	32.9km	철도: 10.9 km 도로: 14.0 km
현재 상태	운행중 1988년 3월	운행중 1994년 5월	건설중	건설중	1884년 완공 2009년 개량
터널 형태	복선 + 서비스	단선병렬 + 서비스	단선병렬	단선병렬	복선철도터널-도로터널
연락 터널 간격	구난역:40m 이외:600~800 m	250m	325m	500m	1,000 m - 1,700 m 6개
구난역 (교행역)	2개의 구난역	2개의 교행 터널	2개의 multifunction station	1개의 emergency station	없음
환기 시스템	송풍기 배연기 풍문	플랜트와 팬 Air lock Piston relief duct	main fans 댐퍼 sliding door 구난역연기제어	환기 덕트 bypass	연락터널 역류 방지팬 자동작동
소화 설비	물분무설비, 연결송수관	물분무설비 연결송수관			철도터널 중앙 하부에 건식연결송수관
화재 감지 설비	적외선온도식 8개소 연기검식 5개소	1.7km 간격 1,200개의 화재감지기			-
특이사항			화재진압구난 특수차량		화재진압구난 특수차량 일반차량이 진입가능

3) 해외 장대철도터널 화재 관련 기준

아래의 표는 철도터널의 화재관련 기준을 보여주고 있다.

표 5. 국가 및 국제기구별 화재안전기준 비교

	UIC (국제철도연맹)	EBA (독일 연방정부 철도 지침)	RFI (이탈리아 철도청)	프랑스 내무부/시설, 교통 주택부 시설기준	일본 국토교통성	고속철도(KTX) 설계기준
구조물의 방화 요건	- 내화성은 다음과 같은 공신력 있는 국제 기준을 권장한다: 예를 들어 ISO 834, Eurocode 1의 part 2.2 와 탄화수 곡선(hydrocarbon curve)에 근거한 화재 조건 - 재료: 불연성 재료 및 연기 발생 특성이 확인된 재료를 사용해야 한다.	- 시멘트 지반의 깊이는 시멘트 재료와 터널벽의 보강력에 따라 설계되어야 한다. 60분 이상 1200°C에서 견딜 수 있어야 한다. (화재시 가스의 온도: 곡선: 0분 0°C, 5분 1200°C, 60분 1200°C, 170분 0°C.) - 상측 전선 및 급전선생의 억류지주는 사고발생시 끊어져서 인명피해를 초래하지 않도록 설계되어야 한다.	해당사항 없음	해당사항 없음	- 구조물의 내화성은 건축기준법 시행령과 소방법 시행령의 규정에 따라야 한다.	- 터널내 화재 발생을 최소화하기 위해서 터널 라이닝은 불연성 재료를 사용하여야 한다. - 각종 전기용 케이블은 가능한 난연성 재료를 사용하여야 한다.
터널 내부의 화재/연기/가스 탐지	- 주 터널과 기계실을 명확히 구분해야 한다. - 다양한 시스템을 사용할 수 있다: 다양한 탐지개념에 따른 간헐적/선형 탐지 시스템의 이용 가능하다.	해당사항 없음	- 신규 터널들의 경우 매 250 m 마다 연기 테스트 연결 장치가 설치되어야 할 것 (번역이 불확실함)	해당사항 없음	- 적외선 온도계 카메라와 감광플라스틱 연기 검지기를 500m 간격 설치한다. (신간선)	해당사항 없음
소화 시스템 (스프링클러나 이와 유사한 설비)	a) 주 터널: 아무런 소화 시스템도 설치하지 않을 것을 권장한다. b) 매우 예민한 설비가 설치된 기계실: 자동 소화 시스템 및/또는 수동 소화기가 갖춰진 연기/화재 탐지기를 설치함. 그 효율성은 별도로 규정되어야 한다.	* 1.4.5 용수 공급 참조	* 1.4.5 용수 공급 참조	해당사항 없음	- 터널내부에 소화전을 연락유도로 간격마다 설비해야 한다. - 역사이 거리가 긴 경우 연결 송수관을 설치해야 한다. - 연결 산수 설비 또는 송수구를 설치한 스프링클러 설비를 해야 한다.	* 1.4.5 용수 공급 참조
연기 배출 시스템/환기 시스템	a) 주 터널에는 규정된 사양이 없다. 역효과의 우려도 있다. b) 복선/단선터널이 섞여 있는 경우 혹은 쌍굴 단선 터널에 굴러 사이를 연결하는 통로가 있는 경우: 배기/연기 추출 시스템은 두 지하철 사이의 통로를 통하여 연기가 한쪽 지하철에서 다른 쪽으로 옮겨가는 현상을 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다. 시스템에 대한 치밀한 개념과 충분한 설계치수 고려가 필요하다. c) 안전 대피 장소: 배출기 시스템은 문열렸을 때 터널 쪽으로 열리는 대피 장소로 퍼지는 현상을 최소화 할 수 있다. (1.2.6 참조). 이러한 요건을 만족하는 능동적 배기 시스템의 대체 방안이 있으면 이 또한 수용할 수 있다. (이를대면 문들). - 신뢰성은 1.4.8 참조 - 길이(축) 방향의 공기 흐름을 형성하는 팬을 설치하려면 공간이 필요하다. 기존 터널에서는 매우 어려운 문제이다.	해당사항 없음	- 미국의 Memorial 터널의 화재 실험결과를 보면 변수들이 다양하고 어려운 지배성을 가졌기 때문에, 터널의 수직 환기에 대한 가설은 통과할 수 있다고 보여지지 않는다. 강제환기 장치의 기획은 검토하지 않는 것이 요구되어진다. 문안 및 역효과의 우려도 있다.	- 도시노선 터널 및 위험물질 또는 규정 물질 운송의 5km 이상인 터널의 경우 배연은 의무적이다. - 배연 속도는 1.5m/s 이하여야 하며, 배연 설비력은 지역적 기상 조건에 적합해야 한다. - 배연은 두 개의 다른 전기 공급원을 갖춘 두 개의 가역 모터에 의해 보장되어야 한다. - 환기 장치는 2시간 동안 적어도 200°C에서의 내화성을 가져야 한다. - 배연시스템 설비 고장 시 주변 설비가 송기 및 흡입되는 연기를 통제할 수 있음을 보장할 수 있도록 계획되었을 경우 이중모터가 의무적으로 필요하지는 않다.	- 화재시험결과를 기준으로 발연 모델을 작성하여 승객 전원이 안전 대피장소까지 안전하게 피난하기 위한 시간을 7분으로 잡고 피난 시간을 확보할 수 있도록 터널 환기 장치의 환기 용량을 결정하여야 한다. - 평상시에는 사갱으로부터 터널부로 환기류가 흐르지 않도록 연력터널 전단면을 개폐할 수 있는 풍문을 설치하여야 한다. - 화재시에는 배연갱도에 설치한 배연팬을 작동시키는 것과 함께 원재풍문을 여는 것에 의해 환기류를 열차 정차지점에 들어오도록 제어할 수 있어야 한다. (신간선 터널화재대책설비 도면)	- 터널 화재시 발생하는 연기 및 유독가스를 기계적인 팬을 사용하여 터널 외부로 배출 시키거나, 일시적으로 연기 침투를 차단하기 위해 신선공기를 불어 넣어 가압, 차단하는 배연설비를 설치한다. - 환기설비는 배연설비가 설치되는 경우 배연기능과 겸용하여 부가적으로 사용이 가능하도록 구축하여야 한다. - 배연설비는 화재의 상황에 따라 효과적으로 연기의 배출방향, 속도 등을 제어하여 배연시킬 수 있는 자동 또는 수동의 운전시스템을 갖추어야 한다.

2절. 국내 정책 및 시장 동향

철도사고 복구와 관련된 국내의 정책은 현재까지 철도운영기관 자율에 따르도록 하고 있다. 이로 인해 철도안전법 및 하위규정에는 사고복구와 관련된 사항에 대해 선언적인 내용만 1줄로 언급하고 있으며, 세부사항은 철도운영기관의 매뉴얼에 기술하도록 하고 있다. 다만, 철도운영기관에서는 비상대응계획을 수립하여 국토해양부의 승인을 받도록 하고 있다. 그러나 사고복구 장비, 인력, 조직 등에 대한 기준이 제시되지 않고 있으며, 훈련 및 비상대응체계에 대한 실적보고 등을 하고 있어 사실상 철도운영기관의 자율성에 맡기고 있다. 그러나, 최근 철도사고 이후의 대응에 대한 관심이 높아지면서, 다양한 매뉴얼이 제정되었으며, 많은 정부기관의 점검시 매뉴얼의 개선사항이 지적되어 지속적으로 보완이 추진중에 있다. 그러나 철도사고복구와 관련한 개선은 경험이나 전문적인 자료가 부족하여 개선이 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 철도터널에서 화재가 발생하였을 경우에 화재진압 설비는 연결송수관이 유일하다. 호남고속철도의 경우 안전성평가에 의하여 연결송수관이 설계에서 제외되었으며 그럴 경우 철도터널에서 화재진압을 위한 설비가 없게 되는 것이다. 현재의 안전성평가의 경우 인명에 안전성만 평가하게 되어 있으므로 시설의 피해는 고려대상이 아니므로 이렇게 결정된 것이다. 만약 철도터널에서 화재가 발생하였을 경우 화재를 진압하지 않는다면 화재는 오랜 시간 지속될 수 있으며 터널 라이닝 및 선로 등의 손상으로 오랜 기간 동안 터널을 통한 운전이 불가능하게 되어 사회적 경제적 손실이 매우 크게 발생할 수 있다.

1. 관련 법규정 현황

현재의 철도사고복구체계는 기본적으로 철도운영기관별로 자체적인 운영을 기준으로하고 있다. 국가에서 관리하는 철도사고 관련 표준매뉴얼에는 한줄로 간략히 정리되어 있다. 철도운영기관별로 한국철도공사의 경우 일반철도, 고속철도, 도시철도, 화물열차 등 다양한 차종에 대한 복구를 위한 자체 규정을 운영중이다. 도시철도운영기관의 경우 차종이 단순하여 기관별로 유사한 복구매뉴얼을 운영중이다. 따라서 사고복구체계는 철도공사의 복구체계와 도시철도 운영기관의 복구체계로 크게 분류할 수 있으며, 철도공사의 복구체계에는 도시철도사고의 복구가 포함되어 있다. 국가의 철도사고복구체계 및 철도운영기관별 사고복구체계를 다음에 분석하여 수록하였다.

국가의 철도사고복구체계는 철도안전법 및 하위규정과 국토해양부의 위기관리 표준매뉴얼로 구성되어 있다. 그러나 이들 매뉴얼의 초점은 사고예방과 사고발생시 인명피해 최

소화로 사고복구와 관련된 내용은 선언적인 내용으로 한줄만 간략히 언급되어 있으며, 세부내용은 철도운영기관의 자체 규정으로 관리하도록 하고 있다. 이는 철도운영기관별로 특성이 상이하여 사고복구 체계 및 장비의 차별성을 두기 위함이다. 다만, 기술적인 부분에 있어 국제적으로 통용되는 필수적인 항목은 철도차량안전기준에 사고시 차량 복구 및 인양을 위한 기술적인 요구사항이 포함되어 있다.

현행 철도안전법의 사고복구 관련 내용은 ①철도안전법 제60조, ②시행령 제56조, ③시행규칙 제4조, 제6조, 제86조, ④철도 비상대응계획 수립에 관한 지침으로 구성되어 있다. 해당되는 전문을 다음에 수록하였다. 관련내용은 사고복구와 관련한 선언적인 내용만을 기술하고 있는 실정이다.

1) **철도안전법 제60조(철도사고등의 발생시 조치)** ①철도운영자등은 철도사고등이 발생한 때에는 사상자 구호, 유류품 관리, 여객수송 및 철도시설 복구 등 인명 및 재산피해를 최소화하고 열차를 정상적으로 운행할 수 있도록 필요한 조치를 하여야 한다.
②철도사고등이 발생한 때의 사상자 구호, 여객수송 및 철도시설 복구 등에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.

2) **철도안전법 시행령 제56조(철도사고등의 발생시 조치사항)** 법 제60조제2항의 규정에 의하여 철도사고등이 발생한 경우 철도운영자등이 준수하여야 하는 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 사고수습 또는 복구 작업을 하는 때에는 인명의 구조 및 보호에 가장 우선순위를 둘 것
2. 사상자가 발생한 경우에는 법 제8조의 규정에 의하여 수립한 비상대응계획에서 정한 절차(이하 "비상대응절차"라 한다)에 따라 응급처치, 의료기관에의 긴급이송, 유관기관과의 협조 등 필요한 조치를 신속히 할 것
3. 철도차량 운행이 곤란한 경우에는 비상대응절차에 따라 대체교통수단을 마련하는 등 필요한 조치를 할 것

3) **철도안전법 시행규칙 제4조(비상대응계획의 내용 등)** ①철도운영자등은 법 제8조제1항의 규정에 의하여 비상대응계획의 승인 또는 변경승인을 얻고자 하는 때에는 별지 제2호서식의 비상대응계획(변경)승인신청서에 비상대응계획(변경)안 및 변경사유서(변경승인을 신청하는 경우에 한한다)를 첨부하여 국토해양부장관에게 제출하여야 한다.

②철도운영자등이 법 제8조제1항의 규정에 의하여 수립하여야 하는 비상대응계획의 체계와 각각의 비상대응계획에 포함되어야 하는 사항은 다음 각 호와 같다.

...중간 생략 ...

2. 기능별 비상대응계획

- 가. 긴급구조체계 및 지휘통제체계 등에 관한 사항
- 나. 긴급 상황의 전파, 비상연락체계 및 긴급대피 등에 관한 사항
- 다. 여객보호를 위한 비상방송시스템의 가동 등 정보제공체계와 정보통제 등에 관한 사항
- 라. 비상사태현장상황과 피해정보의 수집·분석·보고 등에 관한 사항
- 마. 인명의 수색·구조 및 화재진압 등에 관한 사항
- 바. 대량사상자 발생시 응급의료서비스제공 등에 관한 사항
- 사. 오염노출통제 및 긴급 방제(防除) 등에 관한 사항
- 아. 비상사태현장의 접근통제 및 질서유지 등에 관한 사항
- 자. 비상대응지도의 작성 및 긴급구조차량의 접근로 확보 등에 관한 사항
- 차. 구조·지원기관간 정보통신체계 운영 등에 관한 사항

3. 비상사태의 유형별 비상대응계획

- 가. 비상사태의 유형별 시나리오 및 단계별 대응절차
- 나. 비상사태의 유형별 대응매뉴얼작성에 관한 사항
- 다. 비상사태의 대응주체별 역할 및 책임
- 라. 비상사태의 유형별 방송메시지 작성, 상황전파 등에 관한 사항
- 마. 비상사태의 유형별 보고, 수습 및 복구체계
- 바. 비상사태의 유형별 구조·지원기관간 연락 및 협력체계

4. 비상대응훈련계획

- 가. 비상대응훈련의 목표 및 시나리오
- 나. 비상대응훈련의 시기·주기 및 방법(종합·부분·도상훈련 등)
- 다. 비상대응훈련에 따른 구조·지원기관간 협력체계 등에 관한 사항
- 라. 비상대응훈련결과의 평가 및 개선대책에 관한 사항

4) **철도안전법 시행규칙 제6조(비상대응훈련의 평가 등)** ①철도운영자등은 법 제8조제3항의 규정에 의하여 비상대응훈련을 실시한 때에는 다음 각 호의 항목에 대하여 평가하여야 한다.

- 1. 비상대응훈련의 목표 및 시나리오의 적정성
- 2. 비상사태의 단계별 대응절차의 이행 실태
- 3. 비상사태의 대응주체별 역할의 이행 실태
- 4. 비상사태의 상황전파, 비상연락 및 긴급대피조치의 이행 실태
- 5. 비상사태의 보고·수습 및 복구의 이행 실태
- 6. 인명의 수색·구조, 화재진압 및 응급의료서비스 제공 등의 이행 실태
- 7. 오염노출통제 및 긴급 방제, 비상사태현장의 접근통제 및 질서유지 등의 이행실태
- 8. 구조·지원기관과의 협력체계의 효율성

9. 그 밖에 철도운영자등이 평가가 필요하다고 인정하는 사항

②철도운영자등은 제1항의 규정에 의하여 실시한 비상대응훈련의 평가결과를 비상대응훈련을 종료한 날부터 30일 이내에 국토해양부장관에게 제출하여야 한다.

③국토해양부장관은 비상대응훈련의 실시 및 평가에 관한 지침을 작성하여 철도운영자등에게 배포할 수 있다.

5) **철도안전법 시행규칙 제86조(철도사고등의 보고)** ①철도운영자등은 법 제61조제1항의 규정에 의한 철도사고등이 발생한 때에는 다음 각 호의 사항을 국토해양부장관에게 즉시 보고하여야 한다.

1. 사고발생 일시 및 장소

2. 사상자 등 피해사항

3. 사고발생 경위

4. 사고수습 및 복구계획 등

②철도운영자등은 법 제61조제2항의 규정에 의한 철도사고등이 발생한 때에는 다음 각 호의 구분에 따라 국토해양부장관에게 이를 보고하여야 한다.

1. 사고발생현황 등 초기보고

2. 사고수습·복구상황 등 중간보고

3. 사고수습·복구결과 등 종결보고

③제1항 및 제2항의 규정에 의한 보고의 절차 및 방법 등에 관한 세부적인 사항은 국토해양부장관이 정하여 고시한다.

6) **철도비상대응계획 수립에 관한 지침**

1) 사고유형, 위치, 대상을 고려한 예방, 대비, 대응, 복구 시나리오를 포함한 계획수립, 훈련 등의 사항이 포함되어있다. 그러나 국가의 표준매뉴얼과 마찬가지로 사고복구를 위한 세부적인 장비운영, 종사자 교육, 인력 및 조직구성에 대해서는 선언적인 내용을 포함하고 있다.

2) 철도운영기관에서는 해당 지침에 따라 비상대응 계획을 수립하여야 하나, 해당 계획 수립을 위한 전문가나 상설조직의 전담자가 없는 경우가 많아 사고시나리오별로 세부적인 사항을 작성하지 못하고 있는 실정이다. 도시철도운영기관의 경우 사고복구관련 수요가 많지 않으며 비상대응계획 수립 전담자의 부족으로 대부분 안전 및 방재부서에서 겸직을 하는 경우가 많은 실정이다.

2. 국가에서 관리하는 표준매뉴얼

대통령훈령 제229호 「국가위기관리지침」 제1장 및 제2장에서 규정하고 있는 “위기관리 업무 담당부서 지정”, “위기평가”와 “경보 발령 및 전파” 등의 내용에 따라 작성된 매뉴얼로 철도사고복구와 관련하여 국가에서 관리하는 표준매뉴얼은 “고속철도 대형사고 위기관리 표준매뉴얼”과 “지하철 대형화재 사고 위기관리 표준매뉴얼”이 있다. 각각의 표준매뉴얼에 수록된 사고복구 체계도를 다음의 그림에 수록하였다. 각각의 매뉴얼의 양은 50쪽과 60쪽으로 사고의 유형, 사고관리의 기본방향, 위기관리 활동으로 구성되어 있다.

사고복구 분야에는 복구지원팀 구성, 피해복구 통합지원체계, 사고원인조사 및 재발 방지 대책 강구를 목적으로 세부활동 내용이 기술되어 있다. 세부활동 내역은 다음과 같으며, 의사결정 및 복구 장비활용 관련내용은 선언적 내용만 포함되어 있다.

(1) 복구 지원팀 구성, 피해복구 통합 지원체계 가동

- 피해규모 파악 및 복구 지원계획 수립
- 각급기관 긴급 대응반과 연계, 효과적 수습 및 복구대책 강구
- 사고의 수습·복구활동에 대한 기록·관리 및 결과 종합 보고
- 예비군·민방위·군 및 사회단체 등에 의한 복구활동 통합 지원체계 가동

(2) 사고원인 조사 및 재발 방지대책 강구

(3) 사상자 처리 및 장례 등에 대한 지원 대책 강구

(4) 복구 진행상황 보도 및 홍보

위의 매뉴얼에는 복구장비의 종료, 운영인력의 규모(실제 1량 탈선시 현장에서는 최소 35명 정도의 복구인력 투입되고 있음), 의사결정 등의 세부 내용은 기술되어 있지 않다. 관련 매뉴얼중 사고복구와 관련된 부분을 다음에 수록하였다.

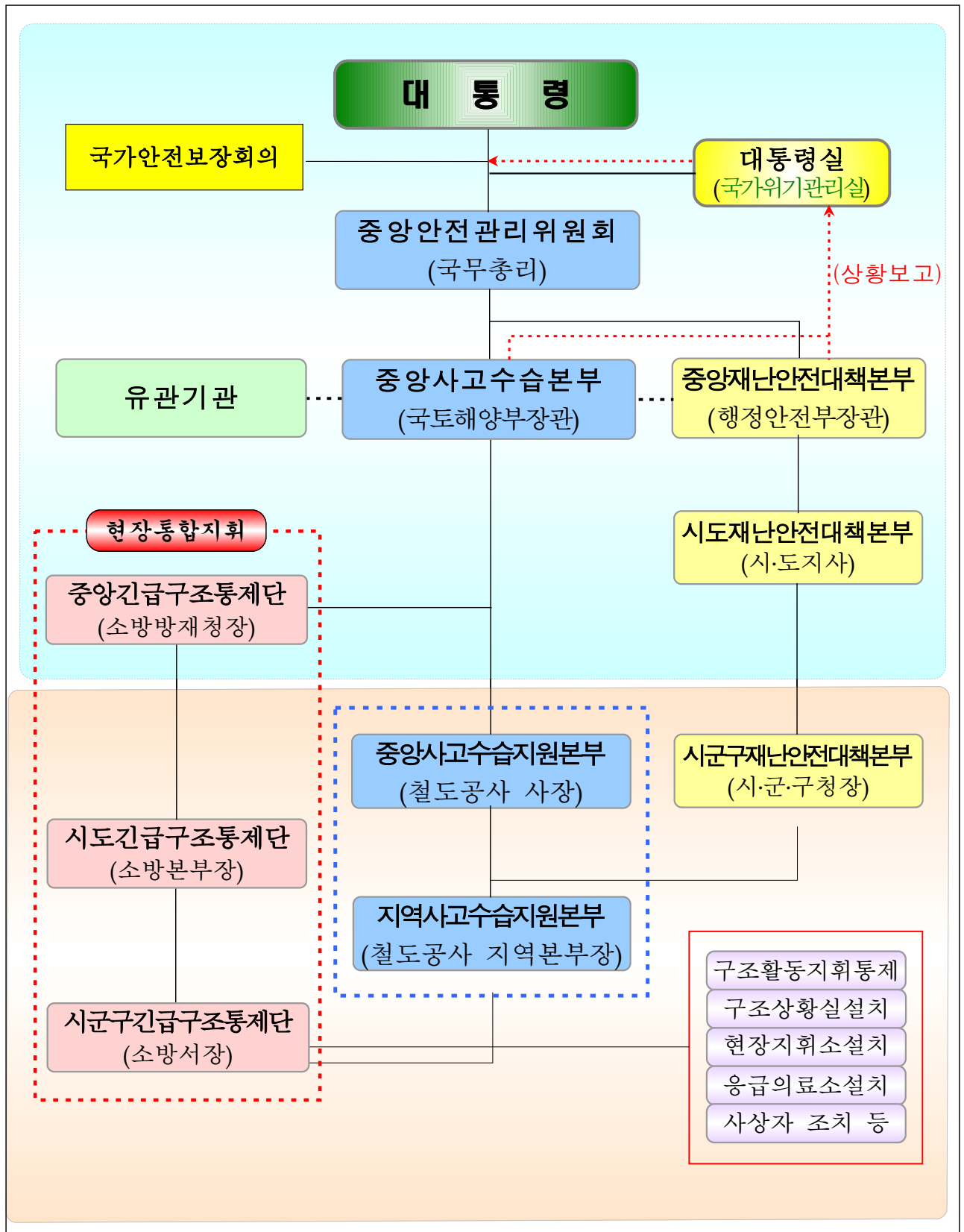
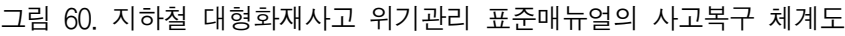


그림 59. 고속철도 대형사고 위기관리 표준매뉴얼의 사고복구 체계도



3. 철도운영기관의 사고복구 분야별 매뉴얼

현재 적용중인 매뉴얼은 철도운영기관의 본사에서 관리중인 “위기대응 실무매뉴얼”과 개별 사업소 및 역무실 별로 상황에 맞도록 작성된 “현장조치 행동매뉴얼”로 구성된다.

위기대응 실무매뉴얼은 국가에서 관리하는 표준매뉴얼에 대해 개별 철도운영기관의 특성을 고려하여 본사차원에서 작성하는 총괄적인 매뉴얼이며, 본사의 안전관리 조직에서 담당하고 있다. 현장조치 행동매뉴얼의 경우 철도사고의 복구와 관련된 철도운영기관의 규정은 사업소 혹은 사무소 별로 세부적으로 운영되고 있으며, 사고복구 장비 및 인력에 대한 실질적인 내용이 포함되어 있다. 사고복구에 관련되는 승무사무소(복구용 기관차 및 장비의 기관차 운영), 차량사업소(기중기 및 구원 기관차 운영, 복구장비, 유니목 운영), 시설사업소(시설물 복구), 전기사업소(전차선 및 전기설비 복구), 신호사업소(신호 및 통신 설비 복구), 관제실(사고시 열차운영), 모든 역무실(역무실 별로 운영) 등 분야별 현장조치 사항에 대해 종사자 개인별 임무와 역할이 포함되어 있다.

위기대응 실무매뉴얼에는 사고시 회사차원의 대응방안 시나리오 비상연락망, 복구장비 출동 방안 등이 포함되어 있다. 현장조치 행동매뉴얼은 사업소별로 운영중이며, 차량사업소의 매뉴얼에 사고복구 인력의 비상대기, 복구 장비의 출동, 평상시 유지관리, 교육훈련 등이 포함되어 있다. 인력운영 부분중 선로를 통한 사고복구장비의 출동이 필요한 경우 승무사무소의 현장조치 행동매뉴얼에 연계되어 있으며, 시설, 신호, 통신 및 관제실 등 사업소별 매뉴얼에 비상복구 자재, 장비, 인력, 상황실 등의 내용이 반영되어 있다.

철도운영기관의 본사 차원에서 작성된 실무매뉴얼에 따라 개별 차량사무소, 역무실 등에서는 사고 유형별 활동 내용이 포함되어 있다. 또한 비상시 지원을 위한 유관기관의 연락처, 인근소방서, 경찰서, 군부대, 병원, 대형 크레인 보유 민간업체 등 사고복구 및 수습과 관련된 유관기관의 비상연락망 등이 기술되어 있으며, 정기적으로 개정하고 있다.

그러나, 실제 본연구의 범위인 열차의 충돌, 탈선, 화재 등의 사고는 발생 빈도가 매우 낮아 사무소별로는 매뉴얼의 활용 실적이 없거나 연간 1회 미만으로 매우 낮아 매뉴얼의 지속적인 관리에 어려움을 겪고 있는 실정이다. 현장조치 행동매뉴얼에는 사고복구 장비 항목, 사양, 훈련, 유지보수 등이 기술되어 있다. 그러나, 실제 사고복구시 장비의 운영, 복구방법의 결정, 사전준비, 복구시 주의사항 등은 현장 복구작업자의 경험에 의존하고 있어 문서화되지 않은 실정이다. 한국철도공사의 경우 열차사고 복구에 대한 경험을 철도사고복구 총람형태로 발간하고 있다. 그러나 본 연구의 목적인 터널과 같이 장애물로 인해 기중기를 사용하기 어려운 공간이나, 충돌로 인해 차량의 변형이 심각한 경우, 터널 구간 화재발생시 복구 등 변화하는 환경에 대한 내용은 수록되어 있지 않다. 위기대응 실무매뉴얼에 기술된 다양한 사고시나리오 구성을 다음에 수록하였다. 현장조치 행동매뉴얼의 경우 실제 역사 및 구조물에 대해 직원실명이 포함되어 있어 생략하였다.

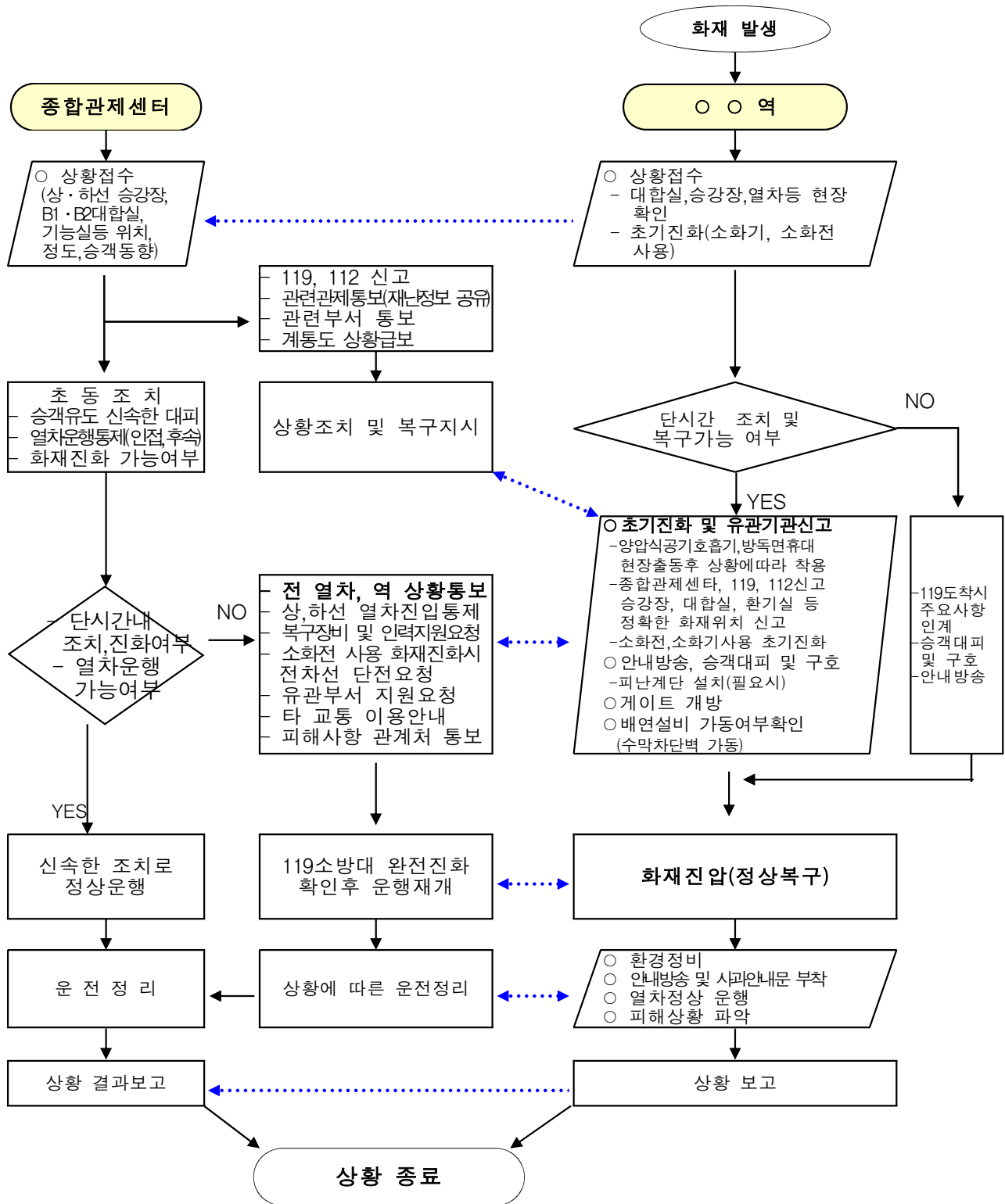


그림 61. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 사고복구 흐름도 예시(역시설 화재)

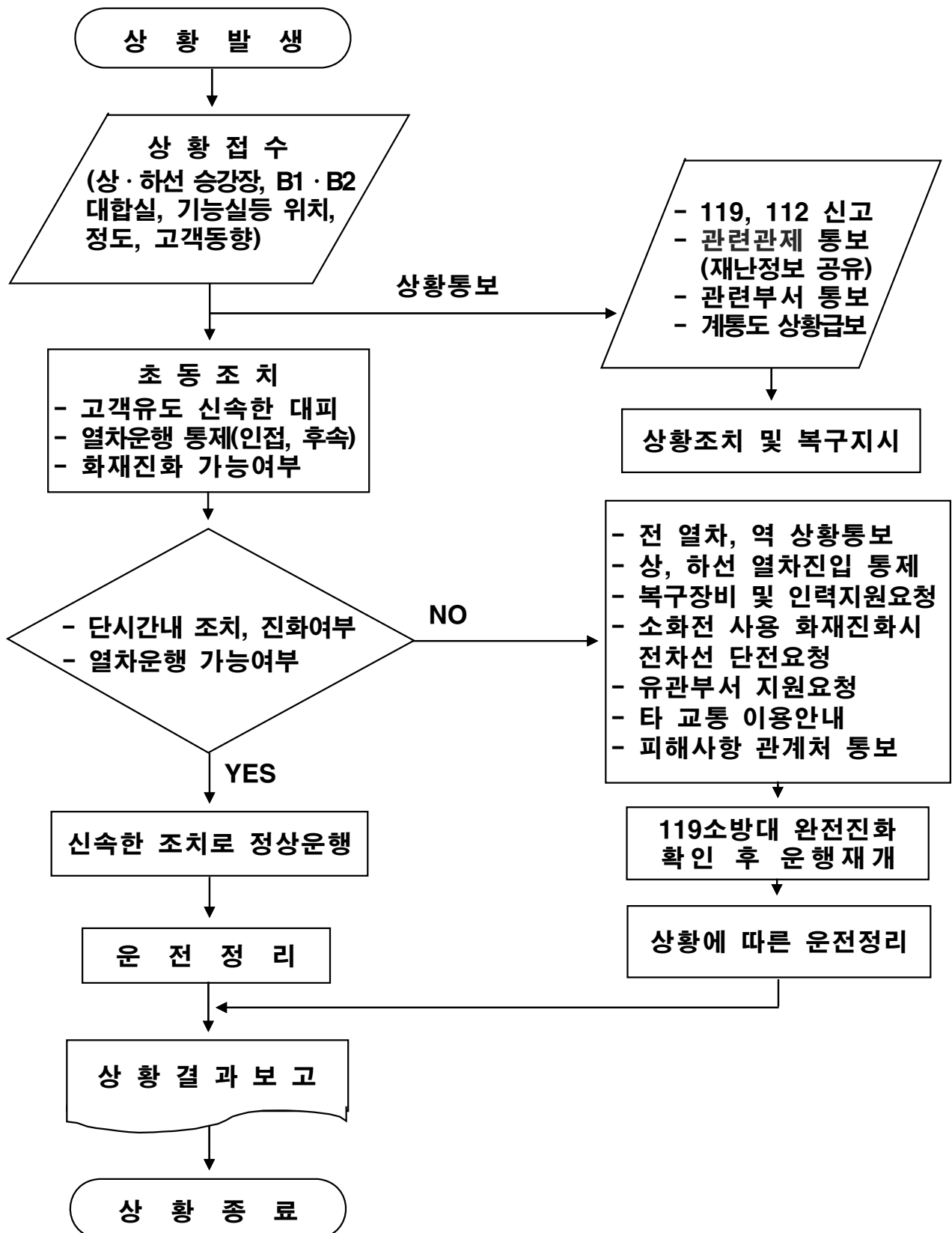
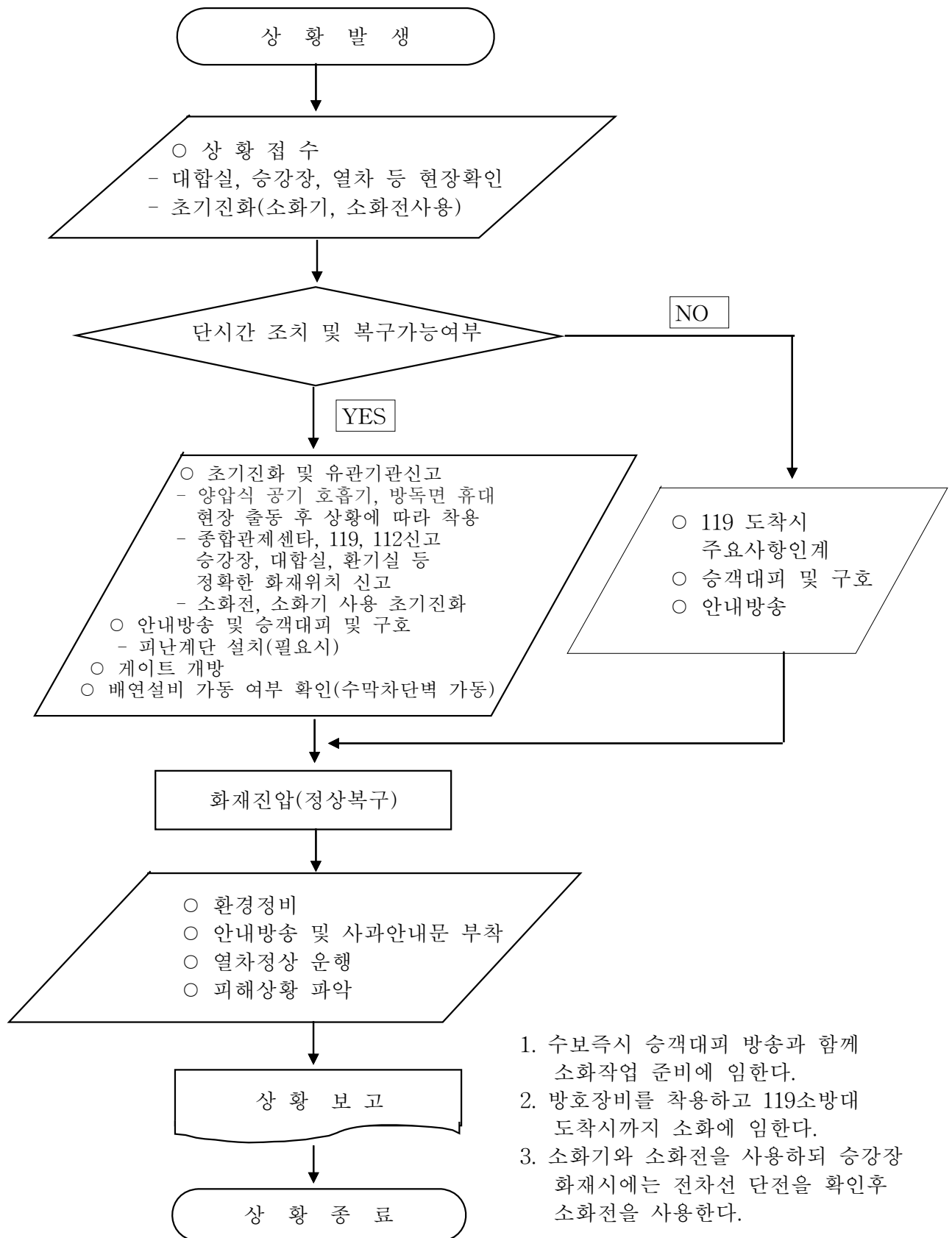


그림 62. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 관제실의 사고복구 흐름도 예시(역사 화재)



1. 수보즉시 승객대피 방송과 함께 소화작업 준비에 임한다.
2. 방호장비를 착용하고 119소방대 도착시까지 소화에 임한다.
3. 소화기와 소화전을 사용하되 승강장 화재시에는 전차선 단전을 확인후 소화전을 사용한다.

그림 63. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 역무실의 사고복구 흐름도 예시(역사 화재)

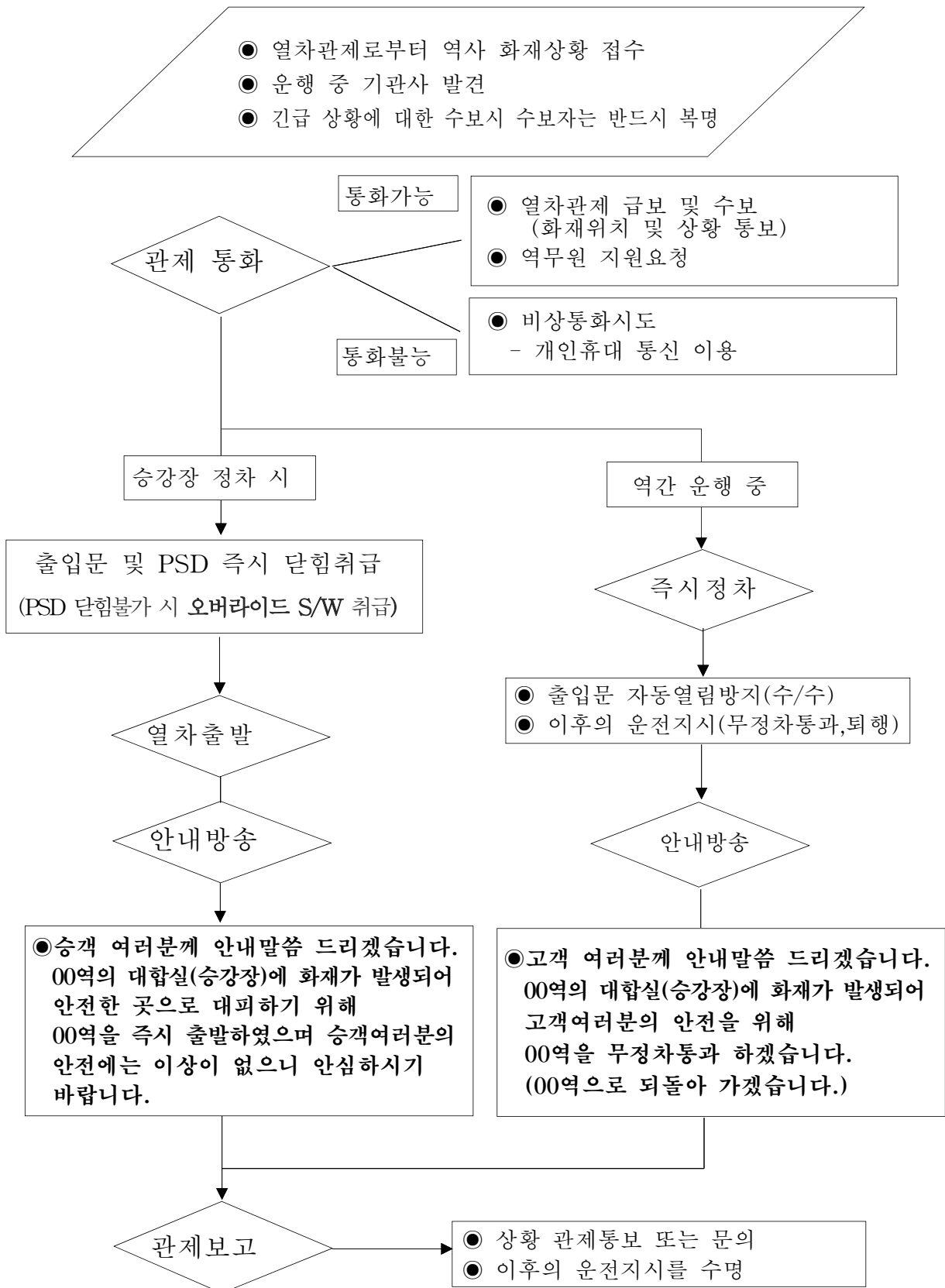
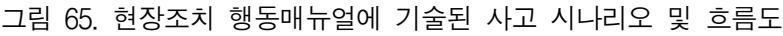


그림 64. 운영기관의 위기대응 실무매뉴얼의 기관사의 사고복구 흐름도(승강장 화재)



시 간 (H+분)	조 치 사 항	조치자
H+00분	○ 화재 발생 상황접수 및 급보 - 종합관제소, 1고객센터 급보 및 119, 112 신고 - 자위소방대 출동지시 ○ 여객 대피유도 안내방송 및 정보제공(지속실시)	책임자
H+10분	○ 현장출동 및 초기진화 - 무전기, 공기호흡기, 소화기 등 휴대 출동 - 소화기 및 소화전으로 초기진화 ○ 여객 대피 유도(터널대피유도-대합실 유독가스 오염시) ※터널대피유도 : 종합관제소 통보 - 비상게이트 개방 - 지상대피유도 및 외부 출입구 통제 - 방독면, 물수건 배부	직원 1
	○ 부상자 안전지대 후송 및 응급조치	직원 2
	○역사 제연설비 가동여부 확인 ◀필요시 수동조작	책임자
H+10분 이후	○ 소방서 및 유관기관 출동 - 현장유도 및 관련정보 제공 - 부상(사상자)여객 구조 및 후송	책임자 구급대
초동 조치 이후	○ 여객 대피유도 및 구호 ○ 열차운행 정지 및 타 교통수단 이용 안내 ○ 유관기관 진압활동 지원 ○ 종합관제소에 현장 상황 보고 - 인명피해 및 여객대피 여부 - 유관기관(119,112등)출동 및 화재진압진행 정도	전직원 “ “ 책임자
상황 종료	○ 화재 진압 완료 보고 ※ 역 ▶ 관제소 ▶ 해당 지자체, 국토해양부, 언론 등 ○ 영업재개 준비	책임자 전직원

그림 66. 현장조치 행동매뉴얼에 기술된 사고시 조치 사항

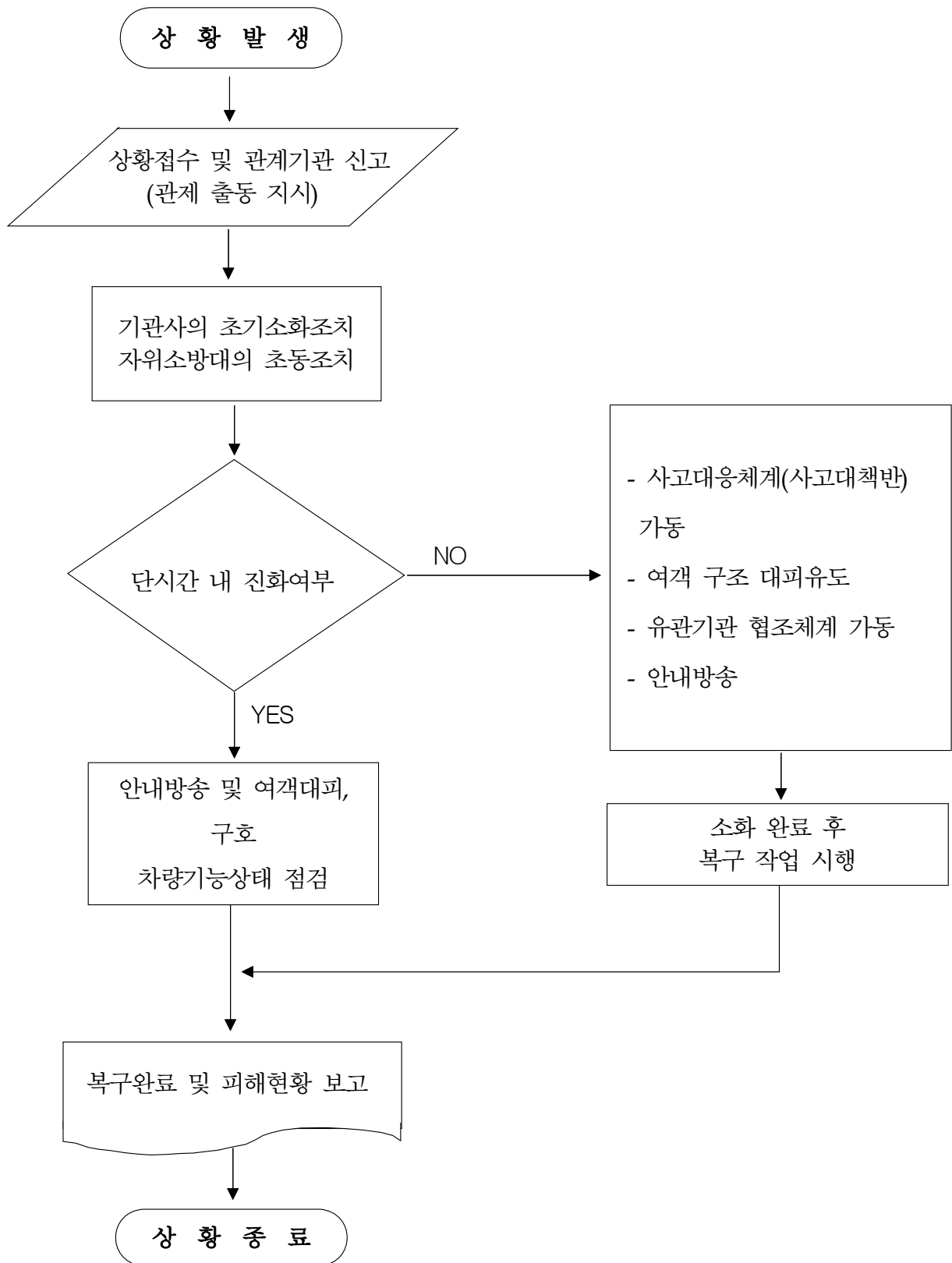


그림 67. 현장조치 행동매뉴얼의 단계별 조치요령

구 분	개 인 별 임 무	비 고
책 임 자 (역 장)	○ 종합관제소, 1고객센터 급보 및 119, 112 신고 ○ 자위소방대 출동 지시 ○ 여객 대피안내방송 및 정보제공 ○ 제연설비(배기) 가동요청 ○ 유관기관 현장안내 및 관련정보제공 ○ 터널대피유도시 운전사령 통보(협의) ○ 종합관제소에 피해상황 및 화재진압완료보고 ○ 화재현장지원	
직 원 1	○ 현장 출동(개인장비 휴대) ○ 초기소화 활동 ○ 여객 대피유도 및 구호 ○ 열차운행 정지 및 타 교통이용 안내 ○ 유관기관 진압활동 지원	
직 원 2	○ 여객 대피 유도(터널대피유도) - 비상게이트 개방 - 지상대피 유도 및 외부 출입자 통제 - 방독면, 물수건 배부 ○ 부상자 안전지대 후송 및 응급처치 ○ 열차운행 정지 및 타 교통이용 안내 ○ 유관기관 진압활동 지원	
공 익 요 원	○ 여객대피유도 및 부상자 구호 협력 ○ 직원 1, 2 보조	
청 소 용역원	○ 외부 출입구 통제 협조 ○ 화재진압완료 후 역사 환경 정비 등	

그림 68. 현장조치 행동매뉴얼에 기술된 개인별 임무 및 역할

4. 철도사고 시나리오 관련 선행연구

선행연구로 수행된 철도사고 위험도분석 및 체계구축 연구에서는 국내외 철도사고 분석, 예비위험분석, 위험원 검토, 전문가 검토 등을 통하여 사고 시나리오를 도출하였다. 세부적인 내용은 관련 보고서에 상세히 기술되어 있으며, 본 연구와 관련된 열차사고의 위험요인과 관련 시나리오의 요약내용을 다음에 기술하였다.

1) 열차 충돌사고의 위험사건 및 위험요인

사고형식	위험사건		위험원인	위험요인	비고
열차 충돌	신호 지시 오류 (인적 오류)	주행선 역구내 입환장	기관사 신호미확인	신호위치 신호상태	곡선지장 수목장애
			기관사 신호위반	신호/지시 위반 주의반응 실패 안전상태 추측	졸음, 주의태만
			기관사 신호오인	인접선 신호착각 이전신호 망각 판독 실패/오판	
			신호지시 없음	신호지시 미전달 신호기 고장	사령, 신호원
			잘못된 신호지시	오류신호 전달 신호기 작동오류	사령, 신호원
	여객 화물 위험 물	기관사 업무수행불능		사상/질병 음주/약물	
		제동실패	제동장치 고장		
			제동취급 지연	과속 선로조건(눈,비,오 염물, 낙엽 등)	
			제동취급 오류	제동력부족 제동취급절차오류	
		추진실패	출발지연/운행정지	출입문 고장 비상제동체결	
			기동불능	추진장치고장 추진력부족 점착력 부족	
		제어장치결함	차상제어장치고장	ATS, ATC, ATP	고장신호
			지상신호장치고장	궤도회로/연동장치	미검지 오류정보 현시
		이선진입		분기기 고장	

			경로설정 오류		
		차량분리 /구름	차량연결 해제	연결기 풀림 연결기 파손 전철기 도중전환	
			제동풀림	구름방지 미설치 급구배 제동부족	
장애물충돌	선로 장애물		열차 탈락물	대형화물 열차하부 구성품	
			구조/시설 탈락물	터널벽 콘크리트 교량구성 부품류	
			작업도구 방치		
			공사장비 지장	크레인, 기중기 모터카	
			자연재해	암석/수목/진흙	
			불법행위/불법침입	불법점거/무단횡단 동물침입 불법물체 방치	
	선로구조물지장		차량한계 지장	차량장치 이상	
			선로한계 지장	선로고정설비 이상	
	도로차량 지장		차량추락 침입	침입방지 시설미비	
			침입검지/경고없음	침입검지 경고미비	
	궤도장비 지장		장비 고장/결함		
			장비취급 불량		
			궤도신호 불일치		
			궤도점유 미확인		

2) 열차 탈선사고의 위험사건 및 위험요인

사고형식		위험사건	위험원인		위험요인	비고
열차 탈선	직선 곡선 분기	차량결함	대차부 고장			
			연결장치 고장			
			제동부 고장			
			차축 고착		차축, 베어링	
			차륜 파손		차륜결함, 찰상	
		선로결함	궤도	레일	레일 파손	
				침목	궤간 확장	
				도상	레일 장출	
			노반		토사암반 붕괴	
			공작물			
		선로장애	열차 탈락물		대형화물 열차하부 구성품	
			구조/시설 탈락/붕괴		터널, 교량, 역사 울타리, 벽	
			작업도구 방치			
			공사장비 지장		크레인, 기중기 모터카	
			불법행위/동물침입			
		자연재해	산사태		암석/수목/진흙	
			홍수/설해			
			지진			
			강풍		고가부/곡선부	
		취급오류	분기기 취급오류		전철기 불밀착	
					전철기 도중전환	
			과속		곡선부/분기부	
			차량일주/열차분리		차량유치실패	
			제동취급오류		급제동, 과제동	
			차륜슬립, 공전		과출력, 선로조건	
			적재 불균형			
		기관사 업무수 행 불가	사상/질병			
			음주/약물			
		분기기 고장	침단궤조 파손			
			연동장치 고장			
			신호급전장치고장			

3) 열차 화재사고의 위험사건 및 위험요인

사고형식		위험사건		위험원인	위험요인	비고
화재	터널 교량 역사	차량화재	객차 동력차 화차 위험물	전기 합선/누전	차량전기기기 전차선/집전장치	차량 종류 -화재 규모 발생 위치 -화재 피해
				과열/폭발	배터리/압축공기 저항박스/난방기	
				제동장치 작동	제륜자 불꽃	
				기계장치 과열	베어링/차축 과열	
				동력차 화재	엔진화재 배기시스템	
				연료, 오일 누출	탱크/연결관 파손 뚜껑/밸브 결함	
				차량내부인화물질	차량내 전기장치 화물/가연물	
				실화(부주의)	승무원/작업자	
				차량내 방화		
		시설화재		선로변 초목	산불확산	
				실화(부주의)	차량검수 차량주박	
				시설물 방화		

4) 열차사고 사건수목분석(ETA)

선행연구에서는 열차의 탈선, 충돌, 화재사고 역시 사고전개에 따라 다양한 시나리오가 존재하여 이를 체계적으로 구현하기 위해 사건수목을 정의하였다. 관련된 ETA 내용을 다음에 수록하였다.

표 6. 열차탈선사고 ETA전개를 위한 초기위험사건 정의

초기위험사건	유형별 구분	비 고
선로결함	- 궤도선형결함 - 레일결함	궤도선형결함 또는 레일결함의 이유로 탈선 발생
차량결함	- 주행장치 결함	차륜이나 차축 등의 주행장치 결함으로 인한 탈선
제동장치결함	- 제동전환 불능 - 제동력 부족 - 제동력 상실	제동장치의 결함으로 인하여 곡선부, 분기부에서 서행 실패, 탈선
선로전환결함	- 선로전환 불능 - 도중전환	선로전환불능, 도중전환 등으로 인한 탈선
과속주행	- 곡선부 과속 - 분기부 과속	분기부, 곡선부에서 과속으로 인한 탈선
분리된 차량-구름	- 차량구름	분리된 차량의 구름에 의한 곡선부, 분기부 탈선
선로상 장애물	- 외부장애물 - 철도시설물 - 차량탈락물	외부장애물, 철도시설물, 차량탈락물 등과의 충격에 의한 탈선
하중분포 결함	- 화물편적 - 선로결함	화물편적 불량, 선로결함 등에 의한 탈선 (전도)
제동충격	- 급제동	곡선부 급제동
견인시 제동체결	- 부상탈선	제동이 체결된 상태의 차량 구원 시 부상 탈선

신호결함	시스템	자동검지	수동검지	전파	자동정지	안전원리	정지	내충격	2차충돌
신호결함	Auto	ATS검지성공	수동검지	전파	자동정지성공	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						발선있음	있음	없음	
					자동정지실패	지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
							없음	없음	2차충돌
			수동검지실패	전파무향	안전원리조치	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
					안전원리조치	지속차륜탈선	있음	없음	
						중속대차탈선	있음	없음	2차충돌
						안전원리실패	고속차량탈선	있음	2차충돌
	Semi Auto	ATS검지성공	수동검지	전파	자동정지성공	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
					자동정지실패	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
			수동검지실패	전파무향	안전원리조치	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
					안전원리조치	지속차륜탈선	있음	없음	
						중속대차탈선	있음	없음	2차충돌
						안전원리실패	고속차량탈선	있음	2차충돌
	Manual	ATS검지성공	수동검지	전파	자동정지성공	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
					자동정지실패	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
			수동검지실패	전파무향	안전원리조치	발선없음	있음	없음	
						지속차륜탈선	있음	없음	
						안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌
					안전원리조치	지속차륜탈선	있음	없음	
						중속대차탈선	있음	없음	2차충돌
						안전원리실패	고속차량탈선	있음	2차충돌
	수동검지실패	전파무향	안전원리조치	발선없음	있음	없음			
				지속차륜탈선	있음	없음			
				안전원리실패	중속대차탈선	있음	2차충돌		
			안전원리조치	지속차륜탈선	있음	없음			
				중속대차탈선	있음	없음	2차충돌		
				안전원리실패	고속차량탈선	있음	2차충돌		

그림 69. 열차탈선사고 ETA - 선로결함

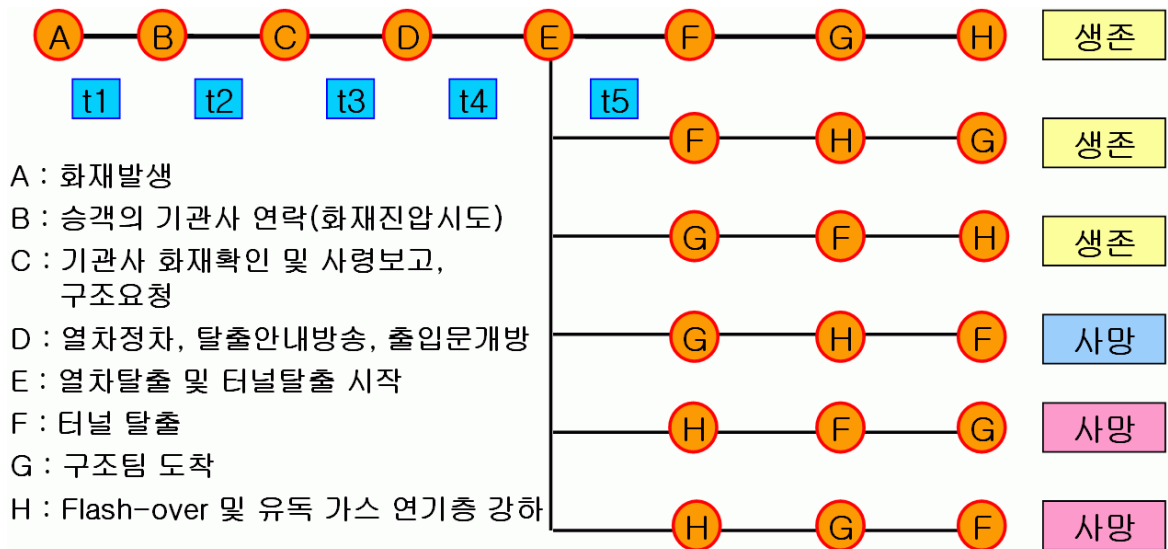


그림 70. 철도 터널내 화재사고시 승객 생존 시나리오

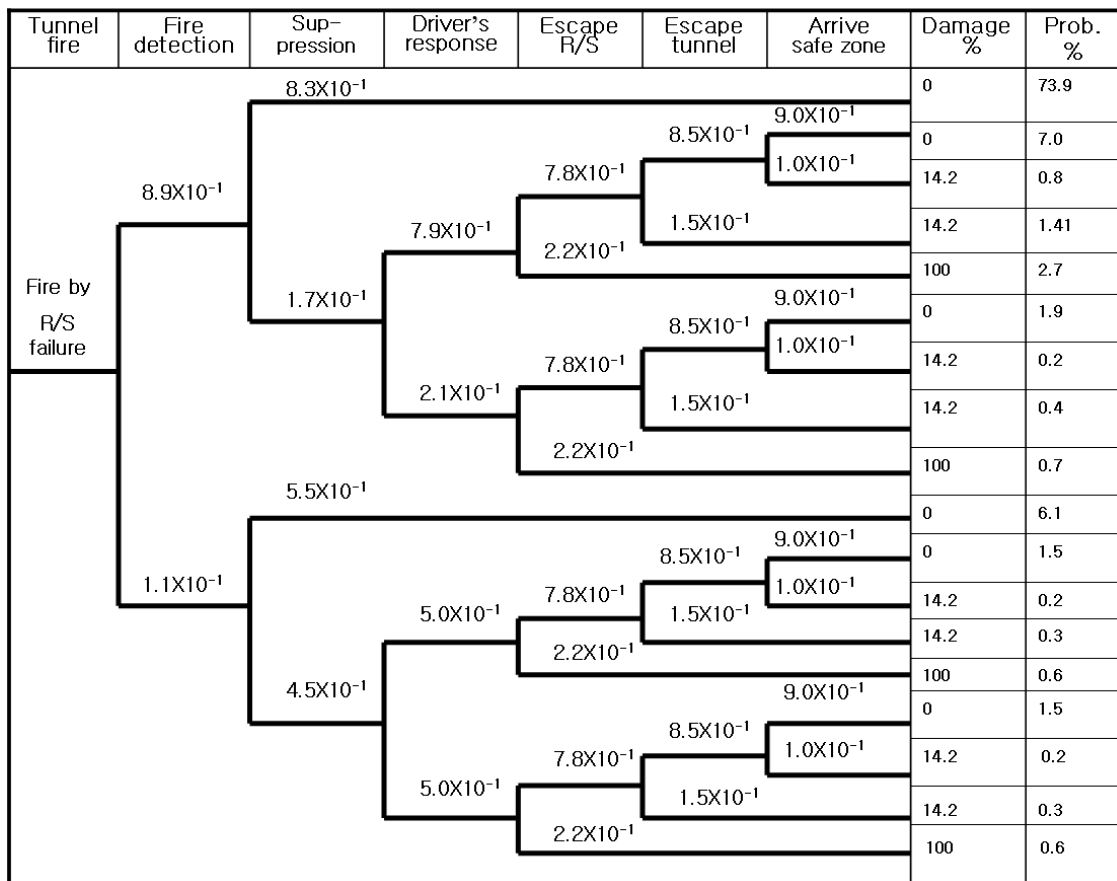


그림 71. 열차화재사고 사건수목(Event Tree) 구성도

5. 유관기관의 합동 훈련현황

국내의 모든 철도운영기관은 위에 설명한 철도안전법의 규정 및 비상대응계획에 따라 유관기관간에 합동훈련을 실시하고 있다. 최근에는 민자역사, 복합 쇼핑몰 등 철도역사와 출입구나 공간을 공유하는 민간업체와도 합동훈련 및 비상연락망을 구축하는 등 기관별 협력이 강화되고 있다. 2011년도 부터 기관별 합동훈련은 국토해양부, 군부대, 철도특별사법경찰대, 인근 경찰서, 소방서, 보건소, 철도운영기관내 사업소(전기, 신호, 통신, 토목, 차량, 승무, 역무실 등) 인원이 참여하고 있으며, 현장 합동훈련 및 도상훈련 등 다양한 훈련이 진행중이다. 그러나 열차사고 특성상 운행중인 선로에서 수행되기 어렵고 실제 탈선, 전복, 화재를 모의하기에는 비용이 많이 소요되어, 실제 상황과는 차이가 있다. 현행 법령에 사고복구 훈련에 대한 의무는 있으나, 관련 규모 및 합동훈련에 대한 언급이 없는 실정이다. 이로 인해 예산투입이 어려운 합동훈련에 어려움이 있으며, 관련 훈련에 대한 인센티브가 부족한 실정이다.



그림 72. 유관기관과의 합동훈련 시연 사진

6. 철도사고복구 장비현황

한국철도공사의 경우 고속철도, 일반철도, 도시철도 및 화물열차를 운행하여 가장 다양한 사고복구 장비를 전국적으로 운행하고 있으며, 사고발생시 복구장비의 고장 및 비상시를 대비하여 가장 인근의 복구장비 2대를 동시에 출동하도록 하고 있다.

철도공사의 경우 다른 운영기관에서 보유하고 있지 않은 기중기 14량을 보유하고 있으며, 도로와 철로를 동시에 운행할 수 있는 유니목을 11량 보유하고 있다. 도시철도 운영기관에서 주로 활용중인 잭키트는 28셋트를 보유하고 있다. 잭키트 등의 비상복구장비가 선로를 통해 사고장소까지 접근이 어려운 경우를 대비하여 도로차량에 이들 장비를 탑재할 수 있는 도로용 화물트럭 혹은 탑차를 동시에 보유중에 있다. 이외에 선로, 신호, 통신, 전력 등의 복구를 위한 장비를 별도로 운영중이다. 실제 사고복구시 현장에는 장비운행을 위해 최소 25~35명의 복구인력이 투입되도록 구성하고 있다. 그러나 사고 규모나 중요도에 따라 100~500명의 대규모 인원이 투입되기도 한다.

도시철도운영기관에서 운행하는 차량의 경우 철도차량의 종류가 비교적 단순하고, 차량의 중량이 량당 30~48톤으로 철도공사의 디젤기관차, 전기동차 등에 비해 가볍다. 또한 중량이 많이 나가는 저항제어차량(48톤)은 일부 기관에서만 운영하여 실제 운행중 중량은 40톤 미만이다. 도시철도 운영기관에서는 철도복구용 기중기는 운영하지 않고 있으며, 잭키트를 중심으로 운영중이며, 구원기관차, 유니목, 모타카 등을 복구훈련시 투입하고 있다. 철도공사와 마찬가지로 잭키트 등의 비상복구장비가 선로를 통해 사고 장소까지 접근이 어려운 경우를 대비하여 도로차량에 이들 장비를 탑재할 수 있는 도로용 화물트럭 혹은 탑차를 동시에 보유중에 있다.

경량전철 운영기관은 도시철도 운영기관과 유사하나, 궤도구조가 상이하여 유니목, 모타카 등이 해당 선로를 운행할 수 있도록 개조된 차량을 운행하고 있다. 도시철도 운영기관과 마찬가지로 잭키트를 보유하고 있다. 국내에서 운영중인 사고복구장비중 사고차량의 처리를 위한 주요 장비를 다음에 기술하였다.

1) 철도사고 복구용 기중기

국내에서는 한국철도공사에서 운영중이며, 과거부터 사용되던 가장 효율적인 사고복구장비로, 대형탈선(선로중심에서 탈선한 거리가 큰 경우), 충돌 등의 사고발생시 신속한 복구가 가능한 장비이다. 선로로 이동시 100km/h 이상의 속도로 이동이 가능하여 사고장소까지 신속한 출동이 가능하며, 150톤~200톤의 인양능력을 보유하고 있다. 일반 선로

에서 탈선한 차량의 안정적인 복구가 가능한 장점이 있어 전세계적으로 활용중에 있는 장비이다. 구동을 위해서는 복구자재가 장착된 평판차량과 함께 구원용 디젤기관차에 연결하여 고속으로 이동이 가능하며, 다음장의 표에 주요 사양을 수록하였다.

기중기는 안정적인 복구작업이 가능한 장점이 있으나 전차선의 해체 및 설치에 추가적인 시간이 소요된다. 또한 터널구간에서는 천장의 구조물과의 간섭으로 인해 기중기의 작업 반경이 나오지 않는 경우가 많아 사용상의 제약이 있다. 교량의 경우 교량내 다양한 구조물, 옹벽과의 간섭이나 기중기의 지가(Outer Trigger) 설치 공간이 없는 경우 활용이 어려운 단점이 있다. 또한 기중기의 구매 비용 및 유지보수, 기중기 운영을 위한 인력운영이 고가여서 국내에서는 철도공사만 운영중에 있는 실정이다. 앞에서 설명한 바와 같이 국내의 열차사고율이 지속적으로 감소하여, 최근에는 열차사고 발생건수가 연간 2~4건 정도로 감소하여, 발생건수를 기중기 보유 수량으로 나누어 보면 연간 1회도 출동하지 않는 경우가 다수 발생한다. 기중기는 철도사고복구에 필수적으로 필요한 장비이나 활용실적이 낮아 철도운영기관에서는 유지보수 및 관련 인력의 유지비용에 어려움을 겪고 있는 실정이다.

현재 기중기의 인양 용량은 철도공사에서 운영중인 철도차량중 가장 무거운 디젤기관차나 화물용 전기기관차(130톤)의 열차사고를 기준으로 복구장비의 사양이 설정되어 운영중에 있다. 이로 인해 기중기의 부피가 커지고, 높은 사양이 요구되어 국내에서 제작이 어려운 실정으로 전량 수입에 의존하고 있다. 또한 기중기의 경우 붐대의 운영각도에 따라 인양 능력이 감소하는 등의 제약이 있다.

최근에는 철도차량이 경량화 되는 추세이며, 전기기관차가 증가하고 있으며, 도시철도 차량의 경우 하중이 디젤기관차의 1/4 정도로 기중기의 사양을 낮추면 부피를 줄이고, 국내 제작이 가능한 상태이다.



그림 73. 사고복구용 기중기 보관 및 출동사진

표 7. 한국철도공사의 사고복구용 주요 기종기 사양

사 양	사 진
1991. 12 미국 ORTON사에서 도입 - 자중 131.81t, 상체길이 10,624mm, 높이 4,142mm, 주후크 150t, 보조후크 32t - 대전차량관리단, 영주, 청량리, 순천, 제천차량사업소 배치	
2003 독일 GOTTWALD사에서 4대도입 - 자중 141t, 상체길이 9,400mm, 높이 4,400mm, 주후크 150t - 동해, 용산, 부산, 광주 익산, 동대구, 청량리, 영주, 순천차량사업소 배치	
1997 미국 ORTON사에서 도입 - 자중 146.2t, 상체길이 10,719mm, 높이 4,398mm, 주후크 180t, 보조후크 68t - 철암차량사업소	
1998 독일 KIROW사에서 도입 - 자중 118t, 연결면간거리 12,000mm, 높이 4,400mm, 주후크 200t, 보조후크 45t - 경주차량사업소	
1999 독일 GOTTWALD사에서 도입 - 자중 140t, 연결면간거리 12,000mm, 높이 4,400mm, 주후크 200t, 보조후크 45t - 김천, 마산차량사업소	
2004 독일 GOTTWALD사에서 도입 - KTX 용으로 사용 - 기종기의 작업반경이 좁아 방음벽, 터널, 전차선하부에서 작업 가능 - 대전차량사업소	

2) 유니목(Unimog)

유니목은 독일의 벤츠社에서 제작된 도로와 철로 겸용 운전이 가능한 차량의 모델명으로 여러 회사에서 생산되고 있으나, 국내에 도입된 도로와 철로 겸용 운전차량의 거의 대부분 벤츠社에서 도입한 유니목을 사용중에 있다. 유니목은 복구용 유니목과 철도차량의 구원운전을 위한 구원용 유니목이 국내에서 운영중이다. 유니목에는 사고복구에 필요한 장비나 복구용 자재의 탑재가 가능하다. 도로를 이용해 사고지점과 가장 가까운 선로접근로로 이동하여, 선로를 통해 사고지점까지 신속한 이동이 가능하다. 철도공사는 물론 도시철도운영기관에서도 운영중에 있으며, 사진을 다음에 수록하였다. 다만, 경량전철의 경우 궤도 형태가 상이하여 유니목에 특수 장치를 부착하여 사용중에 있다.



그림 74. 부산 교통공사의 경량전철 유니목



그림 75. 광주도시철도공사의 구원용 유니목



그림 76. 인천 교통공사의 유니목



그림 77. 대구도시철도공사의 유니목



그림 78. 철도공사의 유니목



그림 79. 부산 교통공사의 유니목

3) 구원용 디젤기관차 및 연결차

거의 모든 철도운영기관에서 비상시를 대비하여 전차선을 통한 전원공급이 없는 경우에도 운행을 위해 비상용 디젤기관차를 구비하고 있다. 비상시 디젤기관차를 사고장소까지 접근하여, 고장난 철도차량과 연결하여 차량의 정비 가능한 차량사무소까지 견인하도록 하기위해 디젤기관차에 연결기를 설치하여 운영하고 있다. 또한 디젤기관차에 사고복구용 장비가 탑재된 화물차나 평판차 등을 연결할 수 있도록 되어 있다. 최근 개통된 ITX-청춘의 경우 기존 디젤차량과 바로 연결이 되지 않아 연결기에 추가적인 부속장치를 연결하여 구원하도록 하고 있다. 모타카의 경우 사고복구용도 이외에 정기적인 시설물 유지보수 등의 작업에 다용도로 활용하고 있으나, 견인력이 디젤기관차에 비해 낮아 보조적으로 운영중이다. 다음에 디젤기관차 및 모타카의 사진을 수록하였다.



그림 80. 서울메트로의 복구차량



그림 81. 철도공사의 비상복구자재



그림 82. 철도운영기관의 각종 사고복구 장비 운영/출동준비 사진

4) 복구장비 이동용 도로차량

그러나 도심구간을 운행하는 도시철도 특성상 사고발생시 해당 선로에 많은 열차가 존재하여 선로를 통한 사고장소의 접근이 용이하지 않은 경우를 대비해 복구장비를 도로용 화물차에 탑재하여 사고장소와 가장 근접한 역사까지 도로를 이용하여 접근후 역사내 승강장을 통해 사고장소까지 접근하는 방법을 동시에 사용하고 있다. 이동용 도로차량은 2.5톤 화물차량이 주로 사용되고 있으며, 우천시를 대비해서 탑차를 사용하는 경우도 많다.

최근에는 사고복구 장비를 컨테이너 형태의 보관함에 넣고 상황에 따라 선로를 통해 이동하는 구원기에 탑재하거나, 도로용 화물차에 탑재할 수 있도록 모듈화 되어 있어, 신속한 대응이 가능하도록 구성하고 있다. 이러한 복구장비는 사고시에 한 개 사업소에서만 출동하기보다는 인근의 사업소에서 동시에 출동하여, 사고복구를 지원하도록 하고 있다. 이를 통해 복구장비의 고장이나, 작업중 예상치 못한 사고에 대응 하도록 하고 있다.



그림 83. 도시철도 운영기관의 철도사고 복구장비 탑재 및 출동장비

5) 탈선차량 인상용 체크키트

체크키트는 일반 도로자동차의 타이어 교환시 사용되는 장비와 유사한 장비이나, 철도차량의 무게가 30~130톤이 넘는 점을 고려하여 유압으로 작동하는 복구장비이다. 일반적으로 부대적인 장비를 모두 포함한 구매 가격이 2억원 미만으로 모든 철도운영기관에서 차량기지별로 배치하여 활용중이다. 기관별로 보유중인 체크키트의 원리는 모두 동일하며, 유사한 형태로 되어 있다. 다만 장비확보 시점에 따라 수평이동시 자동으로 작동되는 장비와 수동으로 작동되는 장비와 같이 세부적인 차이가 있다. 과거의 체크키트는 무게가 무거워 국내 작업자가 이동에 어려움이 있었으나, 최근에는 20%정도 하중이 경량화된 제품이 국내에도 도입되어 운영중이다. 기존에 도입된 장비는 중량이 1ton 정도 였으나, 최근에는 600kg로 경량화된 체크키트가 도입되고 있다. 체크키트는 유압펌프 작동을 위한 발전기, 유압으로 작동되는 주체크와 보조체크, 수평이송 장치, 제어장치 및 각종 유압호스 등으로 구성되어 있다. 체크키트의 작동관련 사진을 다음에 수록하였다.

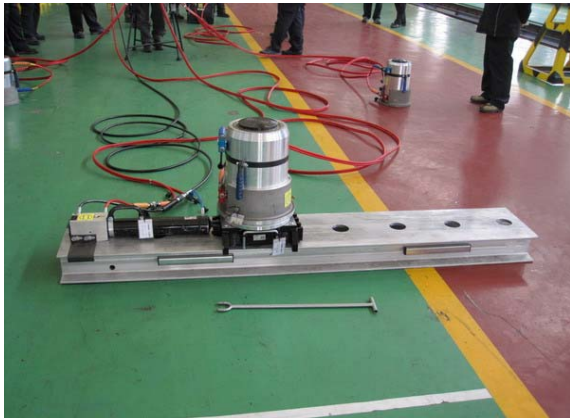


그림 84. 열차 탈선사고 복구용 제크키트 설치 및 복구 훈련 사진

6) 화재사고 복구 및 진압장비 현황

2003년 발생한 대구지하철 화재사고를 계기로 40가지 이상의 안전대책이 추진되었으며, 철도차량 내장재 교체, 화재감지기 설치, 소화기 및 소화전 확대설치, 제연경계벽설치, 비상 통신장치 설치, 비상탈출로 설비, 제연설비 설치, 연결송수관 설치 등 많은 안전대책이 중복적으로 적용되었다. 그러나 대부분의 화재안전대책의 초점은 사고예방과 피해저감에 초점을 두고 있다. 반면, 운행중인 터널에서 화재가 발생할 경우 화재의 진압을 위한 대책으로는 연결송수관이 유일하다. 그러나 연결송수관의 경우 효용성에 대해 많은

논의가 현재 진행중에 있으며, 철도터널내 화재시 진압 및 복구를 위한 장비운영은 없는 실정이다. 다만, 도로용 터널에서 적용이 가능한 터널화재 진압장비가 개발되었으나, 국내에서는 아직 현장에 투입되지 않고 있다. 다만, 차량용 소방보조로봇 등이 개발단계에 있으나, 아직 실전 투입은 없는 실정이다. 철도터널 화재진압에 활용 가능한 소방보조로봇은 국내외에 개발 또는 상용화되어 있다. 이러한 로봇을 이용하여 소방관이 접근하여 소화하기 힘든 극한 상황의 화재를 진압할 수 있다.

① 디알파텍(주)에서 개발한 소형 차량형 화재진압로봇

지하, 공동구와 같이 협소한 지역이나 시설물 붕괴 등으로 소방관이 진입하기 어려운 실내에서 원격조정으로 화재를 진화한다. 열영상 카메라가 장착돼 있어 화재지역의 내벽 온도를 측정해 본부에 정보를 보낸다. 이 로봇은 500℃에서 1시간 이상 견딜 수 있는 내열성을 갖추고 있다.



그림 85. 디알비파텍의 화재진압 로봇

② 로템(주)의 화재진압 로봇

물은 70m까지 방수가능하며 물이 발사되는 동안 소방차량 몸체 주위를 보호하기 위하여 미세한 물방울로 보호하는 시스템을 갖추고 있다. 차 앞뒤에 장애물을 인식하는 6개의 레이저센서를 장착한 무인자율주행이 가능하며 무인주행차량이 알아서 드라이브 기어를 걸고 위성항법장치(GPS)를 통해 장애물을 피해 시속 20km로 주행 가능하다.



그림 86. 로템의 화재진압 로봇 시연장면

3절. 기술동향 분석서

1. 특허 동향 분석서

철도사고복구 장비와 관련된 특허는 사고종류별로 구분된다. 탈선 및 충돌관련 특허는 철도사고복구 장비와 관련된 특허는 궤도와 도로를 동시에 운행할 수 있는 유니목 관련 특허, 복구용 기중기의 요소별 특허 등이 있다. 철도사고 복구장비에 대한 수요가 크지 않아 건설기계를 개량하여 사용중에 있어 대부분 건설기계관련 특허가 출원되어 있다. 예로서, 철도크레인 붐대, 철도크레인용 대차, 대차의 서스펜션, 기중기 인양부하 하중 측정장치 등 다양한 요소기술에 대한 다양한 특허가 있다. 본 기획연구에서 제안된 장비개발 내용은 요소기술이 아닌 이를 활용한 장비개발에 초점을 두고 있다. 따라서 본 절에 수록된 특허는 이를 고려하여 분석하였다. 이들 특허는 모두 건설기계의 특허와 유사하며, 국내에서 도입하여 사용중인 철도기중기를 제작 판매하는 Gottard 社 등에서 보유하고 있다. 이외에 사고 영상을 전송하는 시스템 등 다양한 분야의 특허가 출원되어 있다. 본 기획연구에서 제안하는 터널 및 교량구조에서 사용이 가능한 특허는 없다.

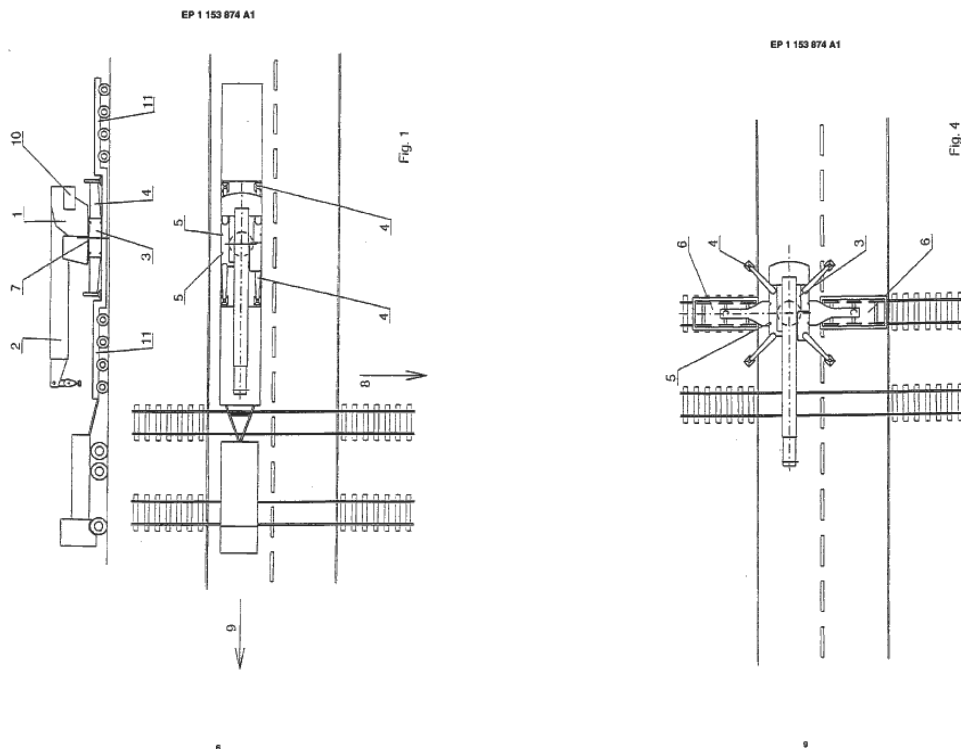


그림 87. 철도사고 복구용 기중기 관련 특허에 기술된 개념도

터널내 화재사고와 관련한 특허는 다양한 요소기술 특허가 있으며, 관련된 7개의 대상 특허를 수집 분석했다. 기존 기술들은 외국 기업에서 먼저 시작한 차량내의 미분무수 소화설비의 응용이거나, 화재진압의 자동화 알고리즘 등에 초점을 맞추고 있다. 개발 대상 기술의 주요 내용인 철도차량의 외부로 부터의 소화용수 공급, 시설물과의 연계, 측면 결합 및 유도시스템 등과 관련된 사항은 없는 것으로 나타났다. 그러므로 현재 기술개발 내용은 특허 등록의 가능성이 높으며 독보적인 기술로 제품화 및 사업화에 가능성이 높다. 다음에 분석 내용을 수록하였다.

표 8. 철도터널 화재 진압관련 특허 목록

번호	국가	구분	문헌번호	출원일	출원인	명칭
1	한국	실용	20-2004-0037204	2004.08.24	살롬엔지니어링 주식회사	열차 자동 화재진압장치 (이중출원)
2	한국	특허	10-2005-0072191	2005.08.08	살롬엔지니어링 주식회사	열차 자동 화재진압장치
3	한국	특허	10-2009-0023857	2009.03.20	전경복	철도 차량용 자동 소방 시스템
4	한국	실용	20-2003-0010409	2003.04.07	주식회사 씨플러스	미분무수를 이용한 철도차량용 화재진압설비
5	한국	특허	10-2005-0115557	2005.11.30	중앙대학교 (주)건국이앤아이 한국철도기술연구 원	철도차량용 물분무식 화재 소화장치
6	한국	특허	10-2002-0522472	2005.12.28	주식회사 로템	전차용 화재감지 및 소화설비 제어장치
7	한국	특허	10-2008-38420	2008.03.19	FOGTEC	철도차량내의 소방

철도터널 화재 조기진압 시스템 소화설비와 관련된 국내외의 관련 특허 및 실용신안을 수록하였다. 이는 위의 표의 세부적인 사항을 다음에 기술하였다.

1) 열차 자동 화재진압장치 - ㈜살롬 엔지니어링

본 고안은 열차 자동 화재진압장치에 관한 것으로, 열차 내에 화재 발생시 발생하는 열이나 연기를 자동으로 감지하여 인체 및 환경에 유해가 없는 가스를 분출하여 신속히 화재를 진압할 수 있는 장치이다. 열차 자동 화재진압장치는 화재 발생여부를 감지하기 위하여 차내의 열이나 연기를 자동으로 감지하는 화재감지기와, 화재진압을 위해서 차량 내부의 일측면에 장착되어 자동소화기능을 가진 자동 소화장치, 및 상기 화재감지기로부터 감지신호를 수신한 후 화재진압을 위해 상기 자동 소화장치를 작동시키고, 이들 기기들을 제어하는 제어기를 포함한다. 또한 열차 자동 화재진압장치는 화재발생을 운전실과 통제실에 알리기 위한 송수신기와 경보기 등을 포함한다.

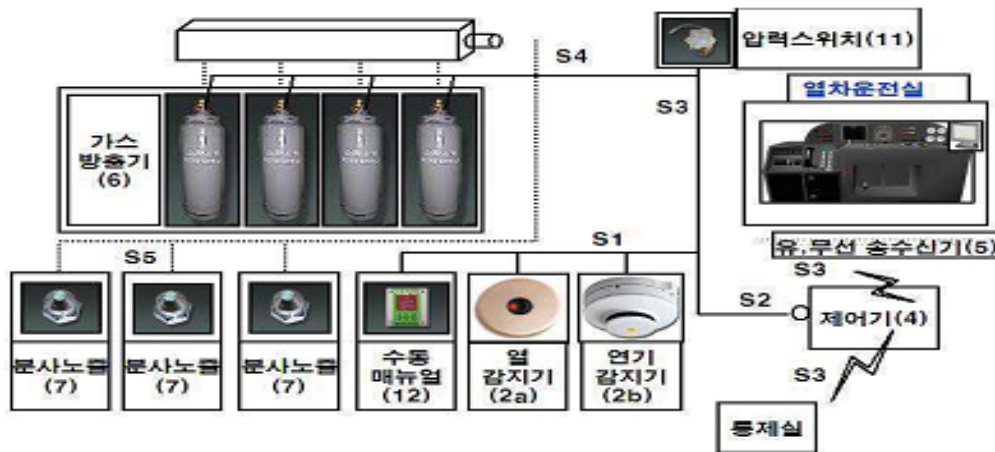


그림 88. 열차 자동 화재진압장치의 구성

2) 열차 자동 화재진압장치- ㈜샬롬 엔지니어링

개시된 본 발명에 의한 열차 자동 화재진압 시스템은, 열차의 각 차량에 구비되어 화재 발생을 감지하는 화재 감지부와, 화재 감지부의 신호를 수신하여 화재 발생 여부를 판단하는 제어부와, 각 차량에 구비되며, 제어부에 의하여 화재 발생인 것으로 판단되는 경우 소화매체가 분사되는 노즐부 및 노즐부와 연통되며 소화매체가 일정 압력 하에 충전되는 하우징과 하우징과 노즐부를 선택적으로 개폐하는 밸브와 제어부에 의하여 밸브를 구동하는 액츄에이터를, 포함하는 소화매체 방출부를 포함한다. 이에 의하면, 열차의 차량에 화재가 발생된 경우 자동적으로 신속하게 화재를 진압할 수 있으며, 열차의 어느 차량에서 화재가 발생하였는지 즉각적으로 감지하여 후속조치를 신속하게 처리할 수 있으며, 화재가 발생된 해당 차량에서만 소화 작업이 이루어질 수 있어 효과적으로 화재에 대처할 수 있다.

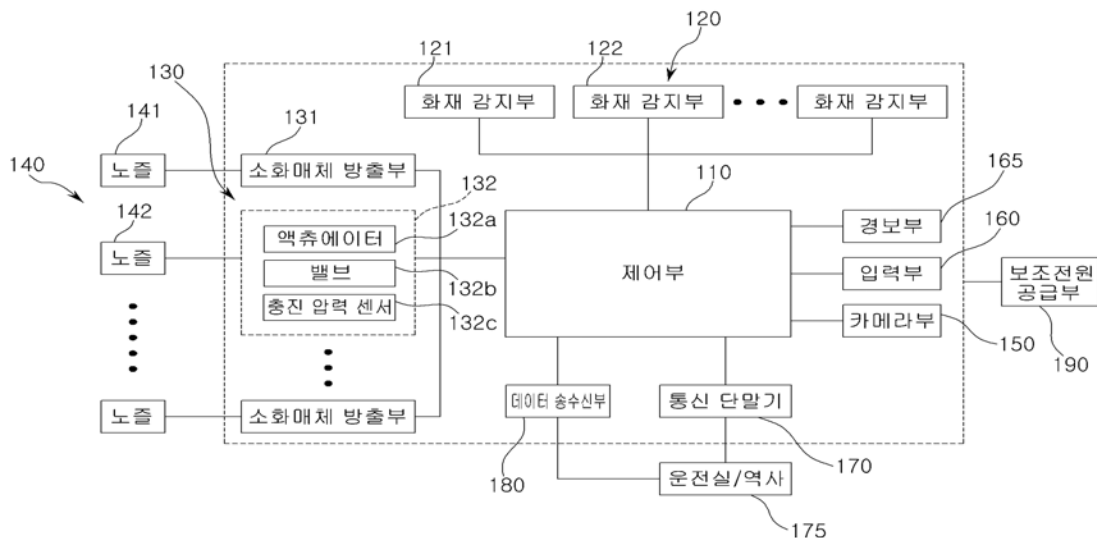


그림 89. 열차 자동화재진압시스템의 구성

3) 철도차량용 자동소방시스템 - 전경복

본 발명은 철도 차량에서 화재 발생시 자동으로 화재를 감지하여 관제센터로 화재 사실을 알림과 동시에 객차 내의 승객들에게 모니터 및 스피커를 통하여 대응요령을 안내하며, 더 나아가 자동으로 화재진압과 유독가스 배출을 위한 초동조치를 수행하는 철도 차량용 자동 소방 시스템에 관한 것이다.

이러한 본 발명에 의하면 철도 차량의 운전자가 미처 화재 발생사실을 인지하지 못한 경우에도 관제센터와 승객 및 운전자에게 화재사실을 알리고 대응방안을 안내함으로써 적절한 대응을 유도하며, 운전자가 미처 적절한 초동조치를 취하지 못한 경우에도 최소한의 초동조치를 자동으로 수행함으로써 화재로 인한 물적 피해와 인명피해를 최소화할 수 있다는 뛰어난 효과가 있다.

4) 미분무수를 이용한 철도차량용 화재진압설비 - ㈜씨플러스

본 고안은 미분무수를 이용한 철도차량용 화재진압설비에 관한 것으로, 본 고안의 특징은 철도차량에 화재가 발생할 경우 승객 자신이 객차 내부에 설치된 조작스위치를 직접 작동하게 되면 외부 저장용기의 개폐밸브가 개방되어 압력조절밸브를 거쳐서 급수파이프를 따라 분사노즐로 미분무수가 분사되어 철도차량의 객차 내부의 화재를 신속히 진압할 수 있게 한 것이다. 즉, 본 고안은 철도차량의 각 객차 외부에는 소화수가 질소가스로 압축되어 충전된 저장용기를 설치하여 이에 개폐밸브에 의해 축압 소화수가 공급될 수 있는 급수파이프를 배관하여 철도차량의 객차내부에 배관하고, 상기 저장용기와 연결되는 급수파이프에는 일정간격으로 분사노즐을 결합하며, 상기 저장용기와 연결되는 급수파이프에는 개폐밸브와 압력조절밸브를 설치하고, 객차내부에는 조작스위치를 설치하여 화재의 발생시 탑승자중의 아무나가 조작스위치를 눌러주면 개폐밸브가 개방되어 저장용기의 압축된 축압 소화수가 급수파이프를 통해 객차내부의 분사노즐을 통해 분사되어 순식간에 화재를 진압할 수 있도록 구성한 것에 특징이 있다.

5) 철도차량용 물분무식 화재 소화 장치 - 한국철도기술연구원

본 고안은 철도차량용 물 분무식 화재 소화장치에 관한 것으로서, 화재 소화용 물을 수용하는 물탱크; 철도차량의 객차 내에 마련되어 상기 물탱크에서 제공된 물을 분사하는 복수의 노즐; 상기 물탱크 내에 수용된 물이 상기 복수의 노즐로 공급될 수 있도록 소정의 중저압 산화질소(N₂O) 가스를 제공하는 가스탱크; 상기 객차 내에 마련되어 화재 발

생에 의한 연기를감지하는 연기감지부; 상기 객차 내에 마련되어 화재 발생에 의한 열을 감지하는 열감지부; 상기 물탱크, 상기 복수의 노즐 및 상기 가스탱크를 상호 연결하는 라인들의 소정 위치에 마련되는 복수의 밸브; 및 상기 연기감지부와 상기 열감지부 중 적어도 어느 하나에 의해 감지된 신호에 기초하여 상기 복수의 밸브를 제어함으로써 상기 중저압 산화질소 가스에 기초하여 상기 복수의 노즐을 통해 물을 분사하는 컨트롤부를 포함하는 것을특징으로 한다. 이에 의하여, 기존 장치 대비 소화 성능면에서는 차이가 없으면서도 상대적으로 저렴한 구성들을 사용함으로써 시설비를 현격하게 절감할 수 있다.

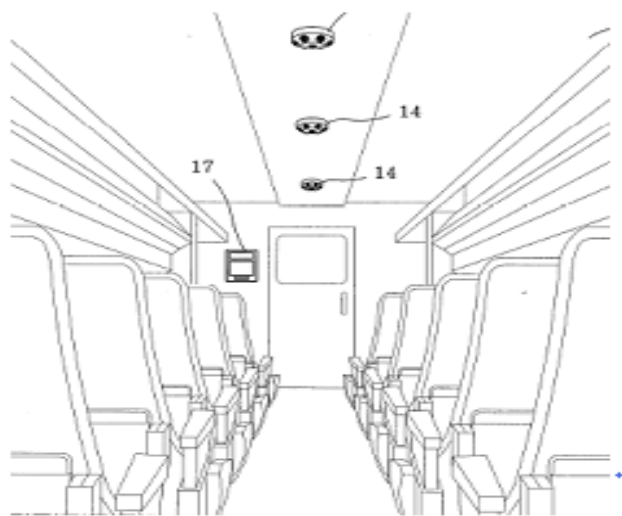


그림 90. 철도차량의 객차 내부를 보인 사시도

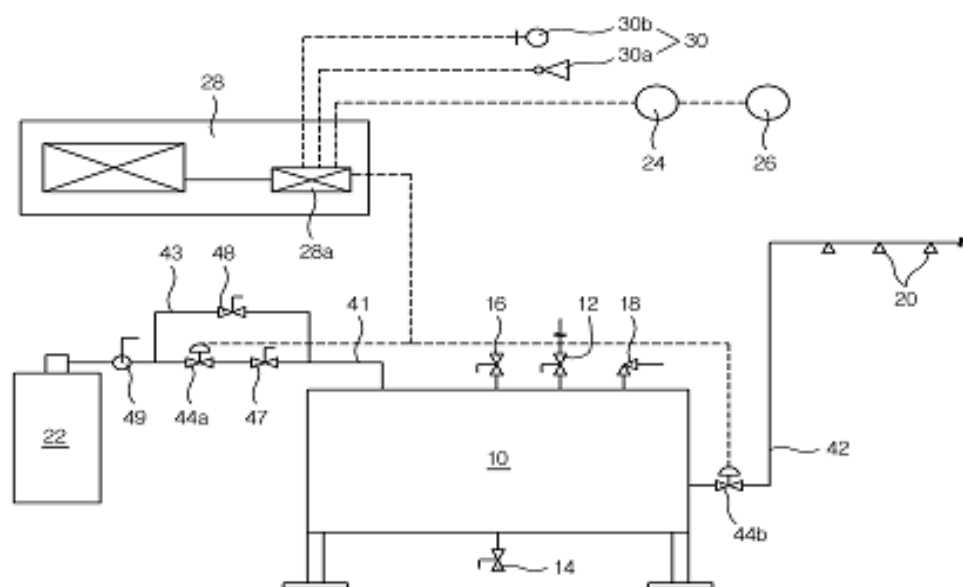


그림 91. 철도차량용 물 분무식 화재 소화장치의 개략적인 구성도

6) 전차용 화재감지 및 소화설비 제어장치 - (주)로템

차량 내에 설치되어 화재여부를 감지하는 다수개의 화재감지부(12); 상기 화재감지부(12)에 의해 감지된 적외선 스펙트럼을 가산하는 가산기(13); 화재유형이 데이터로서 저장되어 있는 화재유형 데이터베이스(17); 화재가 발생되었을 경우에 경보를 발생시키기 위한 경보발생부(14); 화재가 발생되었을 경우에 소화가 이루어지도록 하는 소화부(20); 및 상기 가산기(13)에 의해 인식된 화재유형을 기 저장된 화재유형 데이터베이스(17)와 비교 분석하여 소화부(20)의 방향(21), 밸브(23), 분사량(25)을 작동제어하고 경보발생부(14)를 작동하는 제어부(16)를 포함하여 이루어지며, 상기 제어부(16)는 비교분석된 화재유형에 따라 경보발생부(14)의 경고음과 경고등의 주파수를 가변하여 화재의 강도를 표시하는 구성.

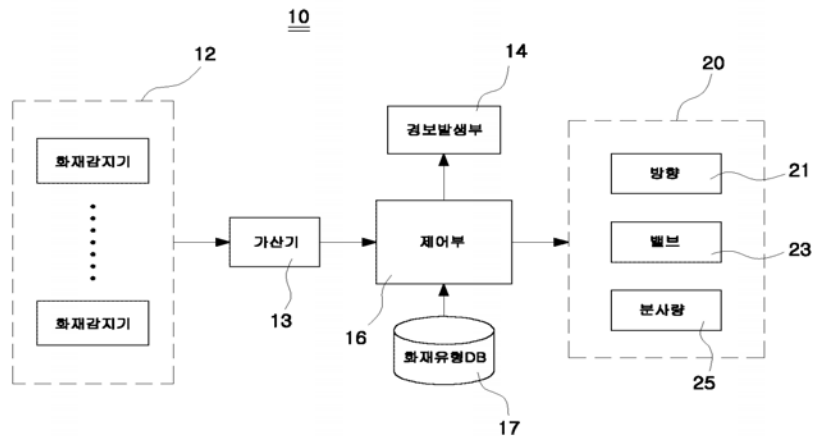


그림 92. 화재감지 소화장치의 구성

7) 철도차량내의 소방 - 포그텍 브랜드슈츠

소화약제 공급 용기와, 배관 시스템과, 소화약제 토출 수단과, 압력 발생 수단을 구비하는 소방 시스템을 포함하고 있는 철도 차량에 있어서, 상기 압력 발생 수단이 상기 철도 차량에 부속되어 있는 압축 공기 공급원에 연결되어 있고, 상기 압력 발생 수단에 의해 상기 배관 시스템 내에 대기 압력이 형성될 수 있으며, 상기 배관 시스템 내의 압력 강하에 의해 화재가 감지하고, 화재 시에 상기 소화약제 토출 수단이 압력 강하를 발생시키며, 화재시의 압력 강하가 배관 시스템에서의 누설에 의한 압력 강하보다 크게 형성하는 구성.

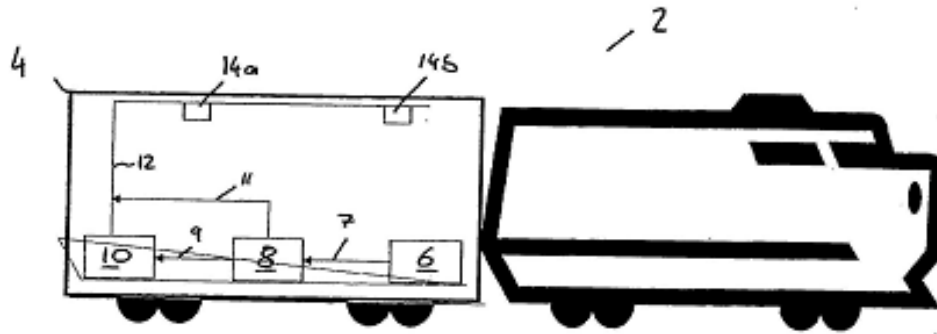


그림 93. 소방시스템의 구성

2. 논문동향 분석

사고복구 체계구축분야에는 비상대응 체계와 관련한 국내논문 2편은 모두 선행연구인 철도종합안전기술개발사업의 철도사고 비상대응절차 개발과제를 수행한 서울과학기술대학교에서 작성되었다. 철도사고 위험도평가 및 체계구축관련 논문 10편은 모두 한국철도기술연구원에서 작성되었다. 이외에 열차의 탈선, 충돌, 화재사고 예방과 관련한 다양한 논문이 있으나, 모두 사고복구와는 직접관련이 없는 사고예방기술로 동향 분석에서는 제외되었다.

(1) 철도사고 비상대응체계 구축관련 논문 2편

① 철도사고유형별 임시복구 표준운영체계(안) 개발

효율적인 철도사고처리를 위한 임시복구 표준화코드 및 표준운영체계(안)을 제시하고, 사고 유형을 피해종류별로 재분류하였다. 복구대상, 사고위치의 3자리 표준화된 코드로 제시한 임시복구 표준운영체계 방법을 제시하였다. 이를 통해 최종적으로는 비상대응관리 체계 구축에 활용하고자 하였다. 그러나, 해당 논문은 사고복구 장비, 인력, 조직 등에 대한 선언적인 언급만 있으며, 본 기획연구와 같이 세부적인 사항에 대한 기술은 없다.

② 철도사고 비상사태유형별 임시복구 표준화 및 표준운영절차 시스템 개발

해당논문에서는 국내철도사고의 유형, 비상대응체계 등이 수록되어 있으며, 유형별 임시복구 분류 및 표준화를 연구하였다. 이 중 본 과제와 연관성이 있는 임시복구 표준운영체계 수립, 사고의 임시복구 시나리오, 시나리오 기반 표준운영절차 수립 등 매뉴얼 제정을 위한 목표로 연구가 수행되었다. 그러나, 사고복구 장비와 관련된 내용은 없다.

(2) 철도사고복구 시나리오 관련 연구

(철도사고 위험도평가 및 체계구축 관련논문)

철도사고에 대한 다양한 시나리오 구성과 원인분석, 예방대책 마련과 관련된 다양한 연구가 수행되었으며, 주된 내용은 사고의 원인분석, 시나리오구성, 체계적인 예방대책 마련, 위험도평가, 안전관리 요건 도출 등으로 구성되어 있다. 열차의 탈선, 열차의 충돌, 터널구간의 화재, 지하역사 화재, 건널목사고, 사상사고 등 전체 철도사고에 대한 시나리오 구성연구가 포함되어 있다. 다양한 논문이 있으며, 본 기획연구의 범위인 철도사고복구 체계 및 장비부분은 포함되어 있지 않다. 다음에 관련 논문의 제목을 수록하였다.

- 확률론적 기법을 활용한 철도터널의 화재사고 시나리오의 구성, 한국철도학회논문집 (2004)
- 철도화재사고 위험도평가를 위한 Event Tree 및 Fault Tree 구성, 한국철도학회 학술지(2008,)
- 철도 충돌 탈선사고 위험도평가를 위한 사고진전 시나리오 개발연구(2006)
- 확률론적 평가기법을 도입한 철도 중대사고 위험도 평가, 한국정밀공학회 논문집 (2006)
- 열차 충돌/탈선사고의 위험사건 정의 및 원인 분류 연구, 한국철도학회(2007)
- Sensitivity Analysis of Safety Measures for Railway Tunnel Fire Accident, WCRR(2008)
- Development and Application of Hazard Analysis & Risk Assessment Models for the Korean Railway”, 국제철도안전학회(2008)
- 화재안전대책의 중복성 검토를 위한 모델 개발, 한국철도학회(2009)

3. 선행연구 분석

가. 철도사고 위험도평가 및 체계구축연구

해당 연구에서는 ① 철도위험요인 분석기술 연구, ② 철도사고시나리오 및 위험추적 방안 연구, ③ 위험요인의 중대사고 진전기구 전개, ④ 안전성 검증/인증모델 연구, ⑤ 철도전용 위험도 정보의 생산/관리를 위한 통합전산프로그램 개발이 진행되었다. 연구결과로는 ① 철도 위험도 평가 전산프로그램, ② 요건검증관리(RVM) 분석프로그램, ③ 철도 위험도 평가 최적화 전산프로그램, ④ 철도 위험도 통합 평가 전산프로그램 (Rail-PRISM), ⑤ 철도 위험도 정보 기반 안전대책 비용효과분석 도구가 있다.

나. 철도사고 비상대응체계 구축연구

해당 연구에서는 ① 유형별 시나리오 및 프로토타입 작성, ② 비상대응 표준운영절차 구현방안, ③ 비상대응 모의 훈련 실행방안이 제시되었으며, 최종적으로는 비상대응절차 현장복구를 위한 교육프로그램개발과 훈련프로그램이 개발되었다. 또한 철도 시설 및 차량장애에 대한 비상대응 시나리오 분석 및 표준운영절차 수립되었다. 주요 결과물은 ① 사고전개 및 비상대응 사례 분석, ② 시설 및 차량장애 시나리오 프로토타입 작성, ③ 인적 오류/심각도 평가 모델을 적용한 시설 및 차량장애 시나리오 작성이 있다.

다. 중대사고 예방관련 연구

열차의 탈선, 화재, 충돌사고 예방을 위한 종합연구가 수행되었으며, 분야별 연구내용은 다음과 같다.

(1) 화재 위험원에 대한 안전성 예측 기술개발

해당 연구에서는 ① 철도차량 화재안전도 시험 및 평가기법, ② 철도차량 화재규모 시뮬레이션, ③ 장대터널/역사 화재안전도 시험 및 평가 기법, ④ (초)장대터널/구난역 화재시나리오 분석 및 시뮬레이션 예측 기법 정립이 수행되었다. 주요 결과물은 ① 철도화재 안전관련 설비 설계 표준화, ② 화재 진압 제어시스템 및 성능평가 방법, ③ 난연/내화 시험설비 구축이 있다.

(2) 충돌안전성 관련 연구

해당 연구에서는 충돌안전성 확보를 위한 ① 철도차량안전규정 및 운영체계 구축, ② 시험평가설비 구축, ③ 충돌안전도 평가기술, ④ 충돌 안전 표준성능장치 및 구조 설계기술이 개발되었다. 세부 내용은 ① 철도차량 충돌안전성능평가 및 피해저감 기술, ② 열차충돌 동역학거동분석 및 평가연구, ③ 열차충돌시험시설 구축 엔지니어링 및 시험평가지원, ④ 충돌에너지 흡수표준성능구조, ⑤ 승객보호용 안전의자 핵심기술, ⑥ 선로침입자 구명장치실용화 기반기술, ⑦ 접촉사고자 보호에어백 등이 있다.

(3) 철도차량 탈선안전성 평가기술

해당 연구에서는 탈선안전성 확보를 위해 ① 선로 주행안전성 평가기술, ② 차량 저하성능 평가 기술, ③ 탈선위험 감시 설비개발, ④ 곡선부 및 레일절손 감시 기술, ⑤ 궤도이상 감시경보기술, ⑥ 분기부 탈선 방지기술이 연구되었다. 주요 결과물로는 ① 레일구름 접촉 피로손상 규명 및 방지대책, ② 지진에 의한 열차 주행안전성 평가기술, ③ 측풍 시 차량전복 위험 평가기술, ④ 혹서기 장대레일 장출 위험 평가, ⑤ 윤축피로 피로손상 규명 및 방지대책, ⑥ 차륜플랜지 관리기술, ⑦ 차륜탈선 안전성능평가 시험설비, ⑧ 차륜 이상검지장치, ⑨ 차량 하부결함 검지장치, ⑩ 차축압입부 피로손상 검지장치, ⑪ 곡선부 탈선방지대책, ⑫ 레일절손 감시경보 기술, ⑬ 대차진동이용 궤도이상개소감시경보장치 , ⑭ 분기부 열차주행안전성 향상대책 등이 있다.

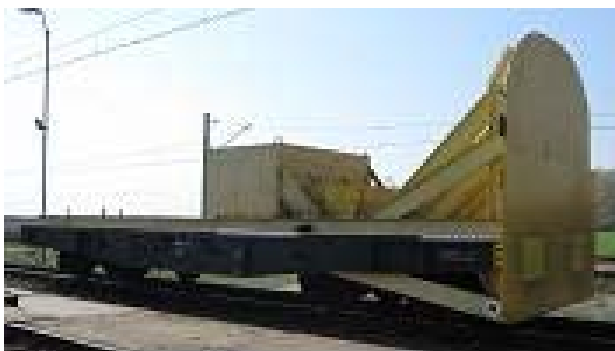
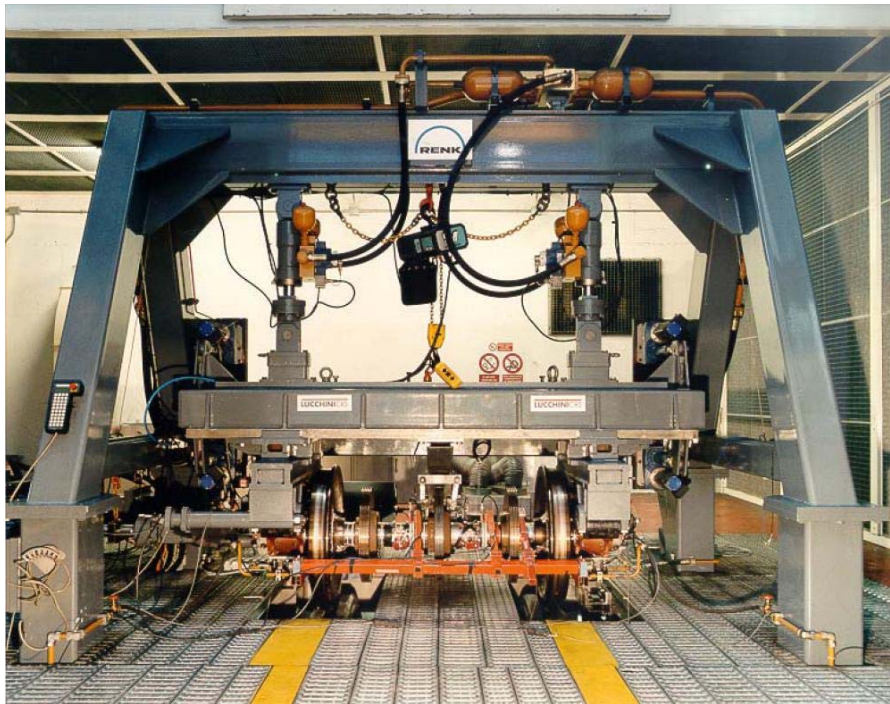


그림 94. 중대사고 예방기술개발을 통해 구축된 다양한 시험평가 장비

4절. 연구개발 인프라 분석

2003년 대구지하철 화재사고 이후 철도안전법이 제정되었으며, 2010년까지 강화된 안전 대책에 따라 연간 1조원이 넘는 집중적인 안전투자로 철도안전관리시스템에 대한 체계 정립, 제도적 기반이 마련되었으나, 대부분 철도사고 예방과 사고발생시 인명피해 저감에 초점을 두고 있다. 당시에는 사고율이 높아 사고예방에 초점을 두어 정책이 추진된 결과이며, 철도안전연구사업의 기획 연구시 시급한 과제로 국가의 역할에 우선순위를 두어 연구개발 내용이 선정되었으며, 철도사고의 복구에 대한 내용은 다루어지지 않았다. 이로 인해 사고복구 시간 단축, 운행지연 최소화를 위한 검토가 수행되지 않았다. 관련 연구에서는 열차 충돌시 충돌에너지 흡수를 위한 다양한 구조개선, 열차의 탈선방지를 위한 모니터링 및 장비개발, 내장재 교체 및 화재 예방대책이 주로 시행되었다. 전철에 기술한 비상대응체계 구축연구나 위험도평가 및 체계구축연구에서는 사고시나리오나 안전대책의 평가 등이 수행되었으며, 사고 이후 복구에 대한 부분은 다루지 않았다.

그러나 당시에 비해 2011년도에는 사고율이 60% 이상 크게 감소하였으며, 열차 운행구간중 터널 및 교량구간의 비중이 크게 증가하였다. 이로 인해 과거에는 크게 관심을 두지 않았던 사고이후의 처리 및 복구방안에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 철도차량의 다양화에 따른 차종별 복구전략수립, 사고복구 취약구간 증가에 대응한 효율적 사고복구 대응전략 수립, 사고복구 경험이 많은 전문가의 퇴직에 따른 사고복구 관련 문서화 작업 및 교육훈련 체계화 등이 요구된다.

(1) 철도사고의 효율적 복구체계 구축방안 연구

국내에서 철도안전과 관련하여 7년간 수행된 선행연구를 통해 국가별 안전체계구축, 국내의 사고통계 분석과 같은 다양한 사전조사가 완료되었다. 또한 유럽철도국, 국제철도연맹, 국가별 철도안전 전문기관과의 다양한 네트워크가 구축되어 있다. 과거에는 국가별 사고통계가 공개되지 않는 등 정보교류가 제한적이었으나, 최근에는 국가별로 철도사고 통계 및 안전과 관련된 법령을 정비하여 정보의 공유 및 교류를 확대하는 추세이다.

대형 철도사고의 발생형태는 매우 다양한 반면, 사고의 발생빈도는 매우 낮다. 이로 인해 사고와 관련된 원인은 정성적으로 예측이 가능하나, 정량적인 결과의 예측은 어려운 문제를 해결하기 위해 국제적으로 철도사고와 관련된 통계를 공유하는 방안이 논의되고 있으며, 주요 사고에 대해서는 많은 자료가 공개되어 있어 대형 철도사고에 대한 시나리오 구성 및 복구전략 수립에 활용하기 위한 자료가 증가하였다. 또한 철도사고로 인한 국민의 인식이 변화하여 철도운영기관에서는 철도사고 발생시 신속한 복구를 위한 다양한 노

력이 진행중에 있다. 이를 바탕으로 사고복구 체계구축 연구를 수행한다면, 성공적인 연구성과를 예상할 수 있다.



그림 95. 건설기계 개발에 사용된 다양한 요소기술

(2) 탈선 및 충돌사고 복구장비 개발 연구

열차 탈선사고의 복구장비는 선로에서 이탈한 철도차량을 선로로 이동하는 장비이며, 열차탈선사고 이외에 충돌로 인해 발생한 탈선사고 복구에도 동시에 활용된다. 실제 사고 복구용 기중기나 체크키트가 충돌 및 탈선사고 복구에 동시에 활용되고 있다. 다만, 기존의 장비가 터널이나 교량에서 발생한 사고에 신속하고 효율적인 대처가 어려워 새로운 형태의 장비개발이 요구된다.

과거에는 국내에서 장비개발이 가능한 업체가 없었으나, 최근에는 국내 건설기계 제작 및 설계업체의 기술이 발전하였다. 철도사고복구에 활용되는 장비의 개발은 건설기계의 주요 부품을 조합하여 개발이 가능하다. 실제 관련특허는 대부분 건설기계의 구성요소에 대해 많이 출원되어 있으며, 철도 사고복구용으로 출원된 특허는 현재 철도기중기를 제작하는 업체에서 등록된 일부의 특허가 있다. 국제 건설기계전시회에는 부품 요소별로 100곳이 넘는 요소부품 생산업체가 참여하고 있으며, 대부분 모듈화되어 조립형태로 사용이 가능하도록 제작되고 있다. 현재 다양한 건설기계에 장착되어 사용중인 장비로 신뢰성이 검증되어 이들 장비를 활용하여 개발을 추진할 경우 단기간에 신뢰성이 높은 장비의 개발이 가능할 것으로 예상된다.

(3) 터널내 화재진압 및 환경피해 복구용 특수차량

스위스를 포함한 선진유럽의 경우 철도터널에서 화재발생 빈번하게 발생하고 있는 상황이며 이를 대비하기 위하여 터널에 여러 설비들을 설치하고 있는 실정이다. 스위스의 경우 최근에 건설되고 있는 터널(예 세계최장터널인 고타드 베이스 터널)의 경우에 터널 화재 대응을 위하여 연결송수관을 설치하지 않고 철도터널 화재진압/구난 특수차량을 도입하여 운영하고 있으며 철도터널 화재진압의 유일한 도구로 특수차량을 운영중이다. 영불해저터널인 유로터널에서도 대형 화재가 2번이나 발생하여 천문학적인 경제적 손실을 입은바 있으며 이를 위하여 유로터널에 화재진압장치에 설치를 위한 프로젝트가 수행되어 2011년에 터널화재 진압설비 설치를 완료하였다.

국내 일반 철도화재 안전설비와 관련하여 한국철도기술연구원을 중심으로 철도터널 화재 안전 평가체계 구축, 안전성평가기술 정확도 향상 및 철도화재안전 설비 구축 등의 연구가 수행되었는데 이러한 인프라 및 기술을 이용한 철도터널 화재안전 확보를 위한 적극적인 연구가 필요하다. 위험물 누출사고시 복구를 위한 원천기술은 다양하게 있으나, 철도터널, 교량에서 발생한 경우 해당 장비를 사고지점까지 이동하기 위한 기술은 없는 실정이다.

5절. 종합분석

2004년 고속철도 개통이후 국내 철도산업은 매우 급격한 기술적, 환경적 변화를 겪고 있다. 기술적으로는 운행속도 향상을 위한 관절형 고속철도차량도입, 곡선구간의 주행속도 향상을 위한 틸팅열차 도입, 2층객차가 도입된 ITX-청춘의 운행, 경량전철의 운행 등 차종의 다양화에 따른 사고복구 전략의 수립이 요구된다. 환경적으로는 열차사고시 터널, 교량, 역사와 같은 구조물이 급격히 증가하여 과거와 같은 복구장비의 활용이 어려워 사고복구 시간이 증가하고 있다. 반면 열차의 운행밀도와 탑승여객수는 지속적으로 증가하는 추세로 효율적인 사고복구전략과 복구장비의 구축이 필수적이다.

2011년 광명역 부근의 터널에서 발생한 고속열차 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고, 2011년 중국의 고속열차 충돌사고, 2011년 일본의 터널내 탈선 및 화재사고, 2005년 일본 효고현 열차 탈선사고와 같이 국내외에서 최근 발생한 다양한 사고의 복구과정을 보면 신속한 사고복구와 사고복구 장비의 중요성을 이해할 수 있다. 또한 국내의 모든 주요 선로에는 전차선이 설치되어 있어 사고복구시 전차선의 제거 및 설치에 추가적인 시간이 소요되어 신속한 복구가 어려워 복구에 상당한 시간이 소요되게 된다. 2000년 이후 발생한 사고를 분석한 결과 터널구간에서 발생한 사고는 소규모 사고라도 일반선로에서 발생한 사고에 비해 평균적으로 2시간 이상의 복구 시간이 추가적으로 요구되었다. 2011년 발생한 고속열차 탈선사고의 경우 사고복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 사고복구를 위한 방법결정에 5시간 이상 소요되었다. 대부분의 선진국에서도 철도운행중 발생한 열차의 충돌, 탈선사고와 같은 대형사고의 복구에는 1주일 이상 소요되고 있는 실정이다. 선진국의 경우 주요 선로에 대해 우회선로가 확보되어 있어, 1주일 이상 특정 선로에서 운행중단이 발생하여도 사회적으로 큰 문제가 되지 않고 있으며, 실제 운행중 선로에 이상이 발견되면 운행중 중단하고 선로를 유지보수 하고 있다. 그러나 국내의 경우 운행밀도가 높고 우회선로가 부족하여 사고복구에 충분한 시간을 확보할 수 없는 실정이다.

선진국의 경우 다양한 우회선로가 확보되어 있고, 법적으로 엄격한 사고조사가 수반되어 열차사고 발생시 신속한 사고복구보다는 장시간의 열차운행중단을 감소하고 있다. 사고복구 장비개발에 있어 국내와 같이 터널 및 교량구간이 많지 않아 2~3개 업체에서 제작된 철도사고복구용 기중기를 사용중이며, 이들 기중기는 국내에서 도입하여 사용하는 기중기와 동일하다. 그러나 이들 기중기는 철도터널 및 교량에서 사용시 제약이 많다.

철도 터널구간, 지하역사에서 발생한 화재사고의 경우 대구지하철 화재사고와 같이 10개월 이상의 장시간의 운행중단을 유발할 수 있으며, 대형 인명피해를 유발할 수 있어, 현재 40종 이상의 다양한 화재안전대책이 시행중이다. 이중 도시철도차량의 내장재 교체,

화재감지기 설치, 소화기 확대설치 등은 완료되었으나, 연결송수관 설치, 제연 및 배연설비 설치, 여객 대피로 설치 등은 현재까지도 진행 중이다. 철도터널에서 화재시 일반적인 소방장비의 진입 및 활용에 어려움이 있어 화재진압 및 시설물 보호에 어려움이 많이 있다. 반면, 화재안전책을 위해 추진중인 많은 대책의 기대효과가 중복되며, 신속한 적용이 어려운 문제점이 있다. 예로서 연결송수관의 경우 1km 당 3억원 정도의 예산이 소요되는 반면, 화재시 연결송수관의 작동을 위해서는 40분 이상 소요되어 신속한 화재진압에 어려움이 예상된다. 또한 국내의 철도터널의 길이를 고려하면 막대한 예산이 소요된다.

과거에는 연간 10건 이상의 열차사고가 발생하여 사고복구장비의 활용도가 높아 고가의 기중를 배치하여 운영하는 것이 가능하였으며, 사고복구 인력의 경험도 지속적으로 축적될 수 있었다. 그러나 최근 강화된 철도안전대책의 적용과 기술의 발달로 인해 열차의 충돌, 탈선, 화재와 같은 열차사고는 연간 2~5건 정도 발생하고 있다. 이로 인해 사고복구 장비의 활용도가 낮아 철도공사의 경우 사고복구용 장비 및 인력을 줄이는 추세이며, 과거 사고복구에 참여한 전문가들이 지속적으로 퇴직하고 있어 사고복구와 관련된 전문성이 유지되기 어려운 상황이다. 기술적으로는 고속철도의 관절대차, 틸팅열차, 전동차 운행, 경전철 등 차종별 다양화된 사고복구 전략이 요구된다.

사고복구 장비의 사양에 있어서는 과거 디젤기관차의 하중인 130톤을 기준으로 각종 사고복구 장비가 결정되어 국내 제작이 불가능하여 전량 수입에 의존하였다. 또한 장비의 성능이 높아져 부피가 커지고, 가격이 증가하였다. 현재 운영중인 도시철도(33~43톤) 및 고속철도(23~52톤)의 경우 보다 낮은 하중을 기준으로 장비를 설계한다면, 국내제작 가능, 운영 및 단가를 낮출 수 있으며, 장비의 경량화가 가능하여 많은 이익이 예상된다. 또한 화재안전대책의 경우 40여 가지가 넘는 안전대책이 수행중이나 대책의 기대효과가 서로 중복되어 이들에 대한 체계적인 검토를 통해 불필요한 설비를 제거하거나, 효율성이 높은 설비로 대체한다면 막대한 경제적 이익이 예상된다.

철도차량안전기준의 경우 철도사고 복구를 위한 사항이 포함되어 탈선시 인양지점, 인양을 위한 설비에 대한 기준이 정해져 있으나, 철도시설안전기준의 경우 충돌, 탈선 및 화재사고 예방과 관련된 다양한 기준이 있으나, 사고복구와 관련된 언급은 없는 실정으로 필요시 사고복구를 위한 시설물 설치 기준에 대한 검토가 필요하다. 또한 현장에서 운영 중인 각종 매뉴얼에는 다양한 열차사고의 대응에 대한 내용이 수록되어 있으나, 사고복구와 관련한 세부적인 내용이 없고, 현장 직원의 경험에 의존하고 있는 실정이다.

철도사고 발생시 효율적인 사고복구를 위해서는 각각의 요인을 최적화 하여 관리하는 방안을 검토가 필요하며, 본 기획연구에서는 다양한 요인중 사고복구시간에 가장 큰 영향

을 미치는 인자들을 발굴하여 이를 해결하기 위한 체계구축과 장비개발에 대해 연구하였다. 이를 위해 현재 국내 철도운영기관의 사고복구 장비 운영현황 및 장비운영실적, 사고복구 전문가들의 의견수렴, 국내외 사고복구 체계 및 장비현황조사, 사고복구 체계 및 장비운영상의 문제점 분석, 국내외 사고복구 장비개발 가능 업체 현황조사, 철도차량 종류별 사고복구에 필요한 장비조사 등 다양한 분석을 수행하여 사고복구 체계 및 장비개발 방안에 반영할 필요가 있다.

탈선 및 충돌사고 복구장비에 대해 현재 운영중인 2가지 장비와 개발을 추진하는 장비의 장단점을 다음표에 요약하였다.

표 9. 열차사고 복구장비별 장단점 분석

특징	기중기	개발장비	재크키트
보유현황	철도공사 11대	전체 기관	전차종
일반선로에서 활용	매우 우수	우수	낮음
터널/역사에서 활용	불가(제한적)	우수	낮음
교량에서 활용	우수(제한적)	우수	낮음
구매 예상 비용	22억원	5억 미만	낮음(2억 미만)
유지보수 비용	높음	낮음	낮음
비상대기 인원	3명(면허소지 포함)	없음	없음
작동시 인원	5명 이상	5명 이상	5명 이상
적용 가능 사고	전체(대/중/소)	전체(대/중/소)	소규모 사고
작업시 안정성	높음	높음	낮음
인양 능력	150~200톤	40~100톤	50~160톤
장비 설치 시간	2시간 이상 (전체선 해체필요)	30분 이상 (전차선 유지 가능)	20분 + 선로이동 (전차선 유지 가능)
장비 접근 방법	선로이동(80km/h)	선로이동(80km/h) 비상시 도로이동	도로/선로/휴대이동 가능
중량	140톤	3~4톤	40~130kg × 10개
작동 원리	상부 인상구조	하부/측면 인상구조	하부 인상구조

연결송수관의 설치비용 대비 화재진압 특수구난 차량도입 및 운영비 비교 결과 특수구난 차량의 경우 도입예상단가는 편성당 45억으로 최대치를 기준으로 설정하면 10편성 기준 450억이 소요된다. 반면 국내의 철도터널내 연결송수관 설치용은 아래 표와 같이 수천억 원 이상이 소요되어 이를 대체한다면 막대한 비용효과가 있다.

표 10. 철도터널 연장별 연결송수관 설치비용

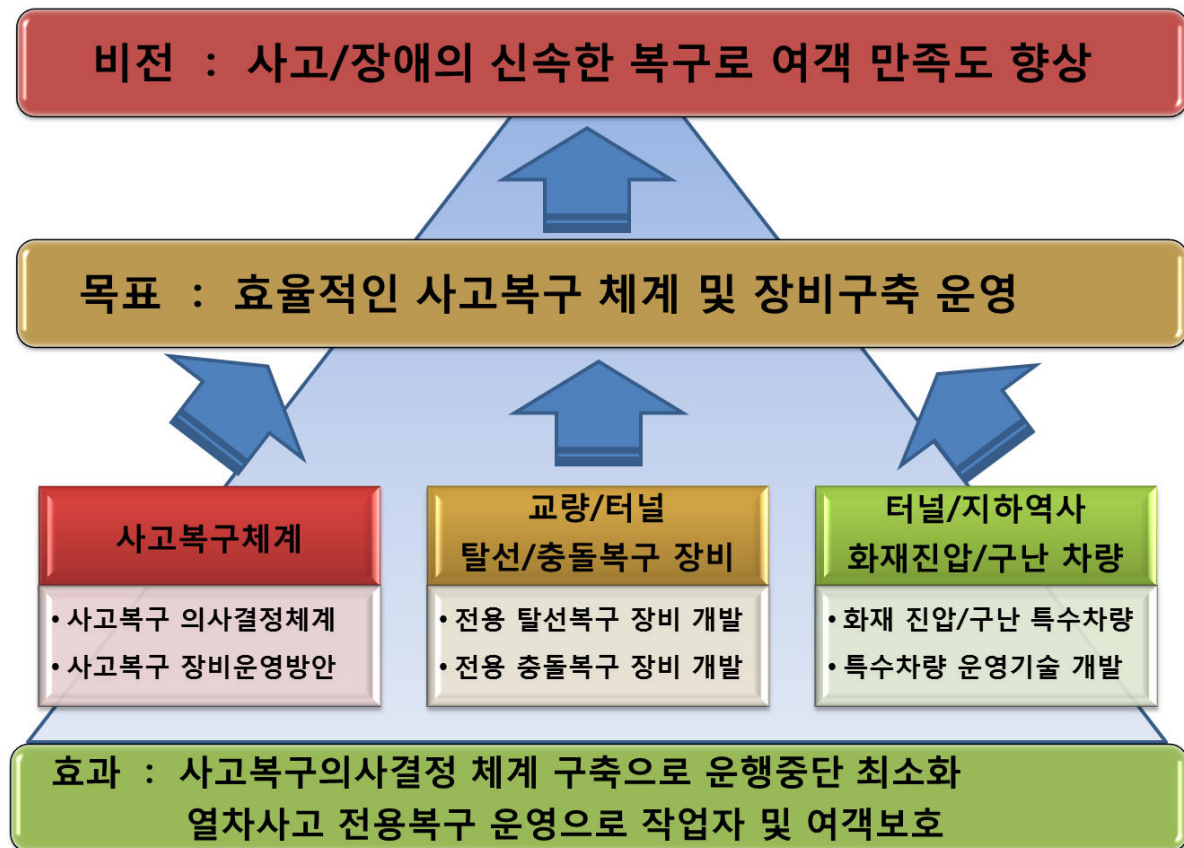
연장 (km)	소요비용 (억원)
1	3.3
2	6.5
3	9.7
4	11.4
5	14.7
7.5	20.4
10	25.4
15	36.9
20	48.7

※ 경부고속철도 기준(2.5km이상 설치)

여기에는 현재 안전대책에 대한 비용만 포함되어 있으며, 사고로 인한 피해비용, 운행손실비용, 인적피해 비용은 고려되지 않았다.

3장. 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절. 비전 및 목표



1. 정성적 목표

2000년대 초반까지는 빈번한 열차사고, 건널목사고와 사상사고로 인해 빈번한 운행중단이 있었으나, 지속적으로 감소하여 사고로 인한 운행중단 보다는 열차지연 위주로 발생하고 있다. 사고시 신속한 복구를 통해 운행중단 시간을 최소화한다면 여객의 철도안전성 및 정시성에 대한 신뢰향상으로 연결되어 철도여객의 증가로 나타난다. 따라서 본 연구의 비전을 “철도 사고/장애의 신속한 복구를 통한 여객 만족도 향상”으로 설정하였다. 이를 위해 설정된 목표는 사고복구체계 구축과 전용 복구장비 개발 및 운영으로 설정하였다.

세부목표는 ① 사고복구체계 구축, ②탈선 및 충돌복구 전용장비 개발, ③ 터널 및 지하역사의 화재진압 및 구난을 위한 특수차량의 개발과 이의 운영기술 개발로 설정하였다. 이를 통해 최종적으로는 ① 열차운행중단 최소화, ② 안정적인 사고복구 작업 진행, ③ 전용장비 사용을 통한 작업자, 차량, 시설물의 보호 효과가 예상된다.

2. 정량적 목표

철도운행중 터널 및 교량구간에서 발생하는 대형철도사고의 경우 발생 사례가 많지 않으나, 운행중 차량 고장으로 인한 정차, '11년 광명역 부근의 열차 탈선사고 등 인명피해가 없는 소규모 사고나 장애는 다수 발생하고 있는 추세이다. 국내에서 최근 발생한 15건의 터널 및 교량구간의 사고 및 장애자료를 분석한 결과 본 기획연구를 통해 제안된 사고복구 체계 및 장비가 현장에서 운영될 경우 사고복구 시간을 50% 이상 감소시킬 수 있을 것으로 예상되었다. 위험물 누출사고의 경우 최근 국내에서 발생하지 않고 있어 사고복구시간에 대한 정량적인 목표 설정에 어려움이 있으나, 화재진압 특수차량의 소화탱크에 중화제를 탑재한 경우 보다 신속한 복구가 가능하다. 터널구간 화재사고의 경우 3개월에서 10개월의 장시간이 소요되며, 시간단위의 목표 설정이 어려워 정량적 목표 설정에서는 제외하였다.

사고복구 장비의 구매 및 유지비용, 관련 인력운영 등에 대한 종합적인 검토를 하여 다음과 같은 3가지의 정량적인 목표를 설정하였다.

(1) 터널·교량 구간에서 발생한 열차사고의 복구시간 50% 단축

철도터널·교량구간에서 열차의 충돌·탈선·화재 사고가 발생한 경우 ① 여객을 안전한 지역까지 대피, ② 사고복구 전략 및 관련 장비 동원, ③ 사고복구 장비의 사고지점 접근, ④ 복구장비 운영을 위한 전차선 등 주변 구조물 철거, ⑤ 사고 차량 임시복구 혹은 제거, ⑥ 철거된 구조물의 재설치, ⑦ 운행안전 확인, ⑧ 열차운행 재개, ⑨ 사후 정리 등 다양한 절차가 요구되며, 사고의 규모, 피해정도 등에 따라 사고복구 시간이 변경된다. 본 기획연구에서 제안된 복구체계 및 장비가 도입된 경우 다음의 기대효과에 따라 전체 사고복구 시간의 50% 절감이 예상된다.

- ① 사고복구 의사결정 지원을 통한 사고복구 전략 및 관련장비 동원 시간 감소
- ② 사고복구 장비의 사고지점 접근시간 감소, 자동화된 장비 도입을 통한 터널, 교량내 진입시간 단축(기존 인력을 이용한 장비 이동으로 시간 소요)
- ③ 소형 복구장비운영에 따른 주변의 구조물 제거 시간 감소(전차선 해체 불필요)
- ④ 해체된 구조물의 재설치 시간 감소(전차선 및 전주 복구 시간 불필요)

(2) 사고복구장비의 도입 및 운영 비용 50% 단축

현재 사고복구용 크레인의 경우 전량 국외에서 수입중이며, 대당 22억원이 소요된다. 장비의 고장시 국외에서 수리가 필요하여 장시간 운영이 어려운 문제도 있는 실정이다. 대형장비로 보관 및 유지보수 비용, 인력운영상의 부담이 증가하고 있다. 반면, 사고복구 장비의 타용도 전환이 용이하지 않아 활용율이 낮은 실정이다.

본 기획연구에서 제안된 장비를 개발하여 운영할 경우 국내제작이 가능하며, 신속한 수리가 가능하다. 또한 모타카 크기보다 작아 보관, 운영 및 인력운영상 다양한 비용 감축이 예상된다. 복구 장비별 예상되는 편익은 “4장 사전 타당성 검토” 부분에 수록하였다.

(3) 사고복구과정의 직원의 부상 위험도 50% 감소

현재 사고복구시 복구차량 및 열차를 사고지점에 가장 가까운 지점까지 접근한 후에 인력을 이용하여 체크키트, 복구용 지그 등 각종 중량물을 이동중에 있으며, 이 과정에서 직원의 부상 위험이 높다. 또한 열차가 전복되거나 탈선된 철도차량을 선로로 이동하는 과정에서의 기중기가 전도되거나, 체크키트가 흔들리는 경우 2차 사고 위험에 노출되어 있다. 작업자와 차량의 안전을 위해 각종 감시센서가 설치된 기계화된 복구장비를 이용할 경우 직원의 이동중 사상사고, 복구과정에서의 사상사고를 예방할 수 있다.

2절. 기술개발에 따른 미래상

1. 현황 및 미래상

(1) 철도사고복구 체계 구축을 통한 신속한 복구방법 결정

국내는 철도운영 역사는 오래되었으나, 사고형태에 따른 복구방법의 결정을 위한 의사결정체계, 철도사고복구와 관련된 장비의 운영, 인력, 조직, 교육 등이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다. 과거에는 철도사고가 빈발하여 사고복구 인력이 충분한 실전 경험을 갖추고 있으나, 최근에는 열차사고가 크게 감소하여 사고복구장비의 출동횟수가 크게 감소하여, 사고복구 인력의 실제 사고복구 경험이 부족한 실정이다. 현장에서 많은 사고복구 경험을 갖고 있는 전문인력이 향후 지속적으로 퇴직예정이어서 이들 전문인력들의 경험과 노하우를 체계적으로 문서화 하여 사고복구 매뉴얼, 사고복구 백서 등의 문서 형태로 발간하여 사고복구 전문인력의 교육 및 사고복구 의사결정 지원 시스템에 반영할 필요가 있다.

과거에는 철도차량의 차종이 비교적 단순하여 차종별 사고복구 방법이 유사하였다. 그러나 최근 관절형 대차가 도입된 KTX, 틸팅대차가 도입된 틸팅열차, 조향대차가 장착된 열차, 높이가 높은 2층 객차, 경량전철, 준고속 열차인 ITX-청춘(연결기 높이가 상이함) 등 다양한 차종이 개발되고 있다. 기존에는 디젤기관차, 전기동차, 화물열차 등에 대해서는 많은 사고복구 경험을 갖추고 있으나, 새로운 기술이 적용된 차량의 경우 사고복구시 전문성이 요구된다. 이와 같이 새로이 개발된 열차가 운행중 사고가 발생한 경우 사고복구 전략수립이 용이하지 않다. 예로서 2011년 광명역에서 발생한 KTX-산천의 사고복구의 방법을 결정하는데 5시간 이상이 소요되었다. 사고복구 경험이 확보된 현재는 유사한 사고가 발생할 경우 사고복구 방법의 결정에 소요되는 시간을 크게 단축 시킬 수 있을 것으로 예상된다.

사고복구장비의 운영체계에 있어, 사고상황에 따라 차종별, 운행 상황별 활용 가능한 장비를 선정한 후 장비별 출동시간, 복구시간, 복구시 안정성 등을 종합적으로 고려할 수 있는 의사결정 지원체계가 구축되면, 사고복구 장비의 구축 및 운영에 대한 효율성이 크게 향상될 것으로 예상된다. 도시철도 운영기관의 경우 전동차량의 중량이 가벼워 소규모 장비로도 신속한 복구가 가능하며, 운영중이 차종이 다양한 철도공사의 경우 디젤기관차, 화물열차, 고속열차, 전동차량 등 차종별 활용이 가능한 장비를 운영할 수 있다.

철도터널에서 화재가 발생한 경우 현재는 복구인력이 터널내 연결송수관을 작동시켜야 하면, 연결송수관에 물이 공급되어 분무시까지 40분 정도가 소요된다. 이러한 시간차이로 인해 화재가 급격히 확산되어 화재 진압이 불가능한 상황이 예상된다. 이 경우 일반적인 소방대의 장비로는 화재차량까지의 접근이 불가능하여 화염으로 인한 구조물변형, 붕괴가 발생하여 4개월 이상의 장시간의 열차운행중단이 예상된다. 터널이 많은 유럽의 국가들과 같이 화재진압 특수차량을 개발 도입할 경우 이러한 문제를 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 화재진압 차량의 개발, 배치, 운영에 대한 체계를 연구하여 실전에 배치하면 현재 막대한 비용이 투자되는 연결송수관 설치 및 각종 화재안전설비의 설치비용을 크게 절약하면서 실효성 있는 화재안전성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

(2) 철도터널에서 발생한 열차 탈선사고

일반선로에서 발생한 열차 탈선사고는 철도사고 복구용 기중기를 이용하여 탈선차량을 선로로 이동하거나, 철도 운행에 지장을 주지 않는 공간으로 이동시킬 수 있다. 기중기를 이용하기 때문에 안정적인 작업이 가능하며, 탈선차량이 선로에서 멀리 떨어진 경우도 복구가 가능하다. 그러나, 터널 혹은 민자역사와 같은 공간에서 발생한 열차탈선사고에는 기중기와 주변의 구조물과의 간섭으로 인하여 기중기를 이용한 복구가 어려워 휴대용 복구장비인 체크키트를 이용하여 복구하여야 한다. 휴대용 복구장비는 탈선 차량이 선로에서 멀리 떨어진 경우 사용이 어려우며, 복구 과정에서 작업자의 부상위험이 높고 작업시간이 오래 걸리는 문제가 있다. 또한 휴대용 복구장비의 중량이 무거워 사고 장소까지 이동에 어려움이 있다. 터널, 역사 및 교량과 같이 선로주변에 많은 장애물이 존재하는 지역에서 탈선된 철도차량의 효율적인 복구를 위해서는 현재의 장비가 아닌 새로운 형태의 복구장비 개발이 필요하다.

현재 운영중인 탈선사고 복구용 기중기는 비상시를 위해 24시간 운영인력이 비상대기를 하여야 하며, 비상시를 위해 상시에 유지보수 작업이 필요하다. 또한 비상대기 인력은 철도차량운행을 위한 장비면허가 필요하여 철도운영기관의 부담이 있는 실정이다.

새로 개발된 장비는 기중기와 같이 상부에서 인상하는 구조이외에 지게차와 같이 하부에서 차량을 인상하는 구조로 되어 있어 터널 및 교량 등 주변에 장애물이 많이 있는 경우에도 상부의 전차선의 해체 작업 없이 작업이 가능하도록 설계하여 신속한 복구가 가능하도록 하였다. 또한 철도차량이 선로에서 크게 벗어나 탈선한 대형탈선사고의 경우에도 활용이 가능하도록 하여 모든 탈선사고에 활용이 가능하도록 하였다. 또한 열차탈선사고 시 신속하게 출동하기 위해서는 철도차량외에 일반 도로차량으로 사고지점과 가장 가

까운 지점까지 이동할 수 있도록 하기 위해 조립형태로 구성하여 현장에서 조립하여 복구에 투입할 수 있도록 하였다. 또한 평상시 유지보수 비용 및 비상대기 인력을 최소화하기 위해 유니목 등에 부착된 유압공급 장치나 소형 발전기만으로 작동이 가능하도록 제안하였다.

탈선된 차량의 인상을 위해서는 차량의 인양점의 하부에 복구장비의 접근이 가능하여야 한다. 그러나, 도시철도 터널내 기둥, 역사내 구조물과의 간섭이 있는 경우, 단선터널로 지게차 형태의 복구장비의 접근이 어려운 경우, 기존의 기중기 사용이 어려운 경우 현장에서 조립이 가능한 기중기를 활용할 수 있도록 하였다. 조립형태의 기중기는 인양 능력에 따라 부피와 중량이 결정되어 차종별로 최적화된 기중기의 제작이 가능하도록 본 기획연구에서 제시하였다. 즉 차종별로 디젤기관차와 같이 140톤 규모의 차량의 탈선 복구용, 50톤 이하인 고속철도, 도시철도의 탈선복구용 등과 같이 규모에 따라 제작이 가능하도록 하였다.

(3) 철도터널에서 발생한 열차 충돌사고

일반선로에서 발생한 열차 충돌사고는 파손된 철도차량을 철도사고 복구용 기중기 혹은 민간의 기중기를 이용하여 선로로 이동하거나, 철도 운행에 지장을 주지 않는 공간으로 이동시킬 수 있다. 기중기를 이용하기 때문에 신속하고도 안정적인 작업이 가능하며, 충돌로 인해 차량의 변형이 크게 발생한 경우도 활용이 가능하다. 그러나, 터널 혹은 민자역사와 같은 공간에서 발생한 열차탈선사고에는 기중기와 주변의 구조물과의 간섭으로 인하여 기중기를 이용한 복구가 어려워 파손차량을 절단기로 분해하여 평판차량에 싣고 차량기지로 이동하여야 하기 때문에 사고복구에 상당한 시간이 소요된다.

터널, 역사 및 교량과 같이 선로주변에 많은 장애물이 존재하는 지역에서 충돌로 변형된 철도차량의 효율적인 복구를 위해서는 현재의 장비가 아닌 새로운 형태의 복구장비 개발이 필요하다.

새로 개발된 장비는 탈선사고시에 활용되는 하부에서 차량을 인상하는 장비와 차량의 이동을 위해 높이가 낮게 제작된 평판차량으로 구성된다. 이 경우 어느 정도의 변형이 발생해도 선로를 통한 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있다. 또한 충돌로 인해 차량이 전복된 경우 전복된 차량을 세우기 위해서는 20~130톤이 넘는 철도차량의 하중을 견딜 수 있는 대용량 에어백의 도입이 동시에 필요하다. 에어백이나 파손차량의 이동을 위한 평판차량에 대해서도 차량의 하중별 특성을 고려한 용량을 설정하여 기관별로 복구장비의 운영 및 상호 공동활용이 가능하도록 하는 방안이 필요하다.

(4) 철도터널에서 발생한 열차 화재사고

철도터널의 경우 화재진압을 위한 설비는 연결송수관이 유일하나, 유지보수 및 동파방지를 위해 평상시에는 송수관에 물이 없는 상태로 유지되고 있다. 화재시 외부에서 물을 공급하는 방식이나, 외부에서 물을 공급한은 경우 연결송수관에 물이 차서 사고지점에 물이 분무되기 전까지 약 40분 이상이 소요되어 신속한 대응이 어려운 문제점이 제기되었다. 화재 진압을 위해서는 소방관이 화재열과 연기로 가득찬 터널의 화재발생 위치까지 도보로 접근하여 연결송수관에 호스를 연결하여 화재 진압을 하여야 하는데 현실적으로 불가능하다. 연결송수관이 설치되어 있지 않은 경우에는 터널 내로 소방차가 진입할 수 없어 화재의 진압 불가능한 실정으로 특수 구난 차량을 이용한 신속한 화재복구 방안의 마련이 필요하다.

화재열차에 탑승한 터널 내에서 외부로 피난할 수 있는 수직갱이나 사갱 또는 터널 출구까지 전파되는 화재열 연기보다 빨리 피난하여야 하는데 화재연기의 속도가 피난 속도보다 빠를 경우 피난 승객은 연기에 질식하게 되어 피난이 불가능하다. 신속한 구난을 위해서는 선로를 통해서 안전한 장소까지 이동이 가능한 구난 차량이 효율적이다.

철도터널 화재 진압/구난 특수 차량의 개발 및 도입과 체계 구축으로 인하여 철도터널에서 화재발생시 지정된 시간 이내에 화재 진압 및 구난이 가능한 특수차량이 화재발생 위치에 도착하여 화재진압 및 승객 구난을 성공적으로 수행하여 최소한의 재산 피해와 안전한 인명 구난을 가능케 할 수 있다. 화재 진압 및 구난 특수차량은 화재시 발생하는 유독가스와 연기로부터 보호하는 기능, 화재 진압기능, 선로를 통해 탈출한 승객의 식별 및 구난기능, 특수차량 진입이 어려운 경우 원격조종을 통한 화재진압 장비의 투입 등 다양한 기능을 수행할 수 있도록 개발하고자 하였다.

(5) 철도교량 등에서 발생한 열차 탈선사고

철도교량에는 전신주, 각종 통신제어 설비, 옹벽 및 방음벽 등 다양한 시설물이 설치되어 있으며, 과거에 설치된 교량의 경우 사고복구용 기중기 운영을 위해 필수적인 지가(Out-trigger) 설치공간이 없어 사고복구용 기중기를 이용한 복구에 어려움이 있다. 일반 선로의 경우 도로용 기중기를 이용하여 복구가 가능하나, 교량에서 발생한 사고의 경우 교량 하부 진입공간이 부족하거나, 산악지형에 설치된 교량의 경우 교각의 높이가 50m 이상 높은 곳이 있어 일반적인 기중기의 사용이 어려운 실정이다. 언양고가와 같은 경우 교각높이도 높으며, 하부에 고속도로가 지나고 있어 사고 복구용 기중기의 접근이 어려

을 수 있다.

본 기획연구에서 제시된 탈선사고 복구장비를 활용할 경우 협소한 작업공간에서도 탈선 차량의 복구가 가능하여 시설물의 철거 및 재설치 시간을 단축 시켜 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

(6) 철도교량 등에서 발생한 열차 충돌사고

열차 충돌로 인한 철도차량의 변형으로 선로를 통한 이동이 불가능할 경우 장시간의 열차운행 통제로 연결된다. 이러한 이유로 중국에서 2011년 발생한 교량내 열차 충돌사고 처리시 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하였다. 그러나 국내에서는 교량내 파손 열차를 지상으로 처리하기 어려워 파손 차량을 일일이 분해하여 평판차량으로 이동하여야 한다. 이러한 과정에서 3일 이상의 막대한 시간이 소요되어 장시간의 열차 운행중단이 예상된다. 또한 파손차량의 처리과정에서 교량에 설치된 전신주, 옹벽 및 방음벽 등 다양한 시설물과의 간섭으로 사고복구용 기중기의 사용이 어렵다. 일반 선로의 경우 도로용 기중기를 이용하여 복구가 가능하나, 교량에서 발생한 사고의 경우 교량 하부 진입공간이 부족하거나, 산악지형에 설치된 교량의 일반적인 기중기의 사용이 어려운 실정이다.

본 기획연구에서 제시된 충돌사고 복구용 대용량 에어백, 탈선복구 장비, 높이가 낮은 평판차량 혹은 임시 대차를 이용할 경우 작은 변형이 발생한 파손차량의 경우 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다. 충돌사고는 차량의 변형 및 탈선으로 연결되는 경우가 많아 충돌사고 복구장비는 탈선복구장비와 동시에 출동하여 현장에서 활용된다.

(7) 철도교량 등에서 발생한 열차 화재사고

교량에서 열차 화재사고 발생한 경우 여객을 신속히 안전한 지상으로 대피시키고, 차량화재를 진압하기 위해서는 비상 구난차량이 필요하나, 화재로 인해 전차선이 단전되거나, 화재가 진행하여 화염의 범위가 넓은 경우 일반 디젤구원기의 접근이 불가능하다. 또한 교량의 높이가 높고, 일반 소방차의 진입로가 확보되지 않아 신속한 화재진압이 어려운 실정이다.

화재 진압용 특수 구난차량은 터널은 물론 일반선로, 교량에서도 활동이 가능하여 여객의 대피 및 화재진압에 효과적으로 대응할 수 있어 여객의 안전한 대피와 구조물의 파손을 최소화 할 수 있다.

위험물의 철도운송중 발생한 위험물 및 환경오염을 유발하는 유류 유출 사고시에 화재구난을 위한 특수차량의 소화용수 탱크를 교체하여 운영하는 경우 위험물의 중화 및 환경오염정화 작업에 활용할 수 있도록 신속하게 다목적 차량으로 개량이 가능하다.

(8) 철도터널 및 교량 등에서 발생한 위험물 유출사고

철도를 이용한 화물운송 과정에서 발생한 사고는 이리역 폭발사고가 있다. 반면, 유독성 화학물질의 누출로 인한 사고는 국내에서는 아직 발생하지 않았다. 이러한 이유로 유독성 물질의 누출사고 혹은 열차의 충돌 및 탈선으로 인해 유독물질이 유출된 경우 중화 및 복구를 위한 장비의 구축이 요구된다. 현재 일반선로에서 발생한 경우 군·경찰·소방대의 지원을 받고 있으나, 교량 및 터널에서 발생한 경우 해당기관의 지원이 어렵고, 사고현장의 접근이 일반장비로는 불가능하다. 이를 위해 화재진압 및 구난용으로 개발된 차량을 활용할 경우 효율적인 대응이 가능할 것으로 분석된다.

2. 기술개발 전략 및 효과

가. 철도사고복구 체계 구축

사고복구 장비의 개발전 사고복구 장비의 사양과 효용성에 대한 사전검토를 수행하여 사고복구장비 개발 및 운영과정의 시행착오를 최소화 하도록 하였다.

선행연구에서 수행된 철도사고비상대응체계 구축의 결과물, 국토해양부 및 철도운영기관의 매뉴얼, 비상대응계획수립지침의 내용에 사고복구와 관련한 내용을 추가할 수 있도록 사고복구 체계, 의사결정체계 등의 내용을 연구하여 철도운영기관의 현장에서 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

선행연구에서 수행된 철도사고 위험도분석 및 평가체계구축 과제에서 제시된 사고 시나리오별 위험요인의 연구결과를 사고복구장비 개발 전략 수립에 활용하여 사고복구 체계 및 장비의 활용성을 높이도록 하였다.

선행연구에서 개발된 차량안전기준, 시설안전기준에 사고복구 내용을 반영하는 방안 검토와 국제적인 기준의 검토를 통해서 개발되는 사고복구 전용장비가 향후의 환경변화에도 효율적으로 활용되도록 하였다.

최종적으로 사고시나리오별 복구전략, 의사결정, 장비투입 및 자원확보 방안을 마련하여 다양한 매뉴얼에 반영하여 현재 문서화 되지 않은 많은 현장의 경험을 문서화 하도록 하였다.

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 유지보수 비용 및 인력을 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고 실전 투입시 높은 신뢰성을 확보할 수 있도록 장비개발 및 운영방안을 마련한다. 또한 현재 운영중인 사고복구장비와 신규개발 장비의 공통활용 전략의 수립 방안을 모색하며, 운영기관별 복구장비의 상호운영 방안을 고려하고자 하였다.

사고장비의 확보 및 운영전략에 있어 현재는 활용성 보다는 최악의 상황을 가정하고 이에 적용 가능하도록 장비를 구축하고 있다. 이로 인해 장비의 부피가 증가하여 실전에서 활용이 어려운 경우가 발생하고 있다. 또한 사고복구장비의 사양이 높아져 국내에서 제작 및 생산이 불가능하여 전량 수입에 의존하고 있다. 이로 인해 고장 및 유지보수시 시간과 비용이 소요되어 철도운영기관의 부담이 증가하고 있다. 본 연구를 통해서 실제 활

용성을 고려한 장비의 사양을 결정하여 장비의 구매 및 유지보수 비용, 수리비용을 낮추는 방안을 검토하려 한다.

나. 열차 탈선 및 충돌사고 복구장비 개발

(1) 타 산업에서 개발된 요소기술 활용

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 유지보수 비용 및 인력을 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고 실전 투입시 높은 신뢰성을 확보할 수 있도록 장비개발이 필요하다. 이를 위해서는 새로운 요소기술의 개발보다는 기존 건설기계에서 개발되어 현장에서 운영중인 다양한 요소기술을 조합하여 개발하는 방안이 효과적이다.

이미 개발되어 건설기계에서 사용중인 다양한 요소기술을 조합하여 장비를 개발할 경우, 부품이 표준화 되어 있어 신속한 유지보수, 수리가 가능하다. 또한 국내 업체의 기술을 사용할 수 있는 장점이 있다.

(2) 실제 차량의 하중을 고려한 장비의 사양 결정

철도차량별 하중은 다음과 같이 20톤에서 130톤까지 큰 차이가 있다. 현재까지는 최악의 상황을 고려한 사고복구장비를 구축하고 있으나, 실제 대부분의 사고는 운행중인 전동차, 객차, 화차의 탈선이다. 노선별 철도운영기관별 특성을 고려하여 실제 철도차량의 하중을 고려하여 사고복구장비의 사양을 결정한다면, 부피의 감소, 제작 및 도입비용의 감소, 유지보수 비용의 감소, 국내 제작 가능, 수리 시간 단축 등의 장점이 있어 이를 반영하고자 한다. 최악의 경우에 대해서는 현재 모든 철도운영기관에서 보유중인 휴대용 복구장비인 잭키트의 이용이 가능하다. 다만 휴대용 장비 특성상 사고현장의 접근, 복구작업의 안정성, 복구시간에 단점이 있으나 휴대용 복구장비는 160톤 이상까지 인상이 가능하여 최악의 시나리오에서 적용이 가능하다.

- 고속차량 : 동력차 51.8ton(대차 8~8.2ton/개),
동력객차 36.7ton (대차 8~8.2ton/개)
관절대차 22.5ton(대차 7.8ton/개)
중간 관절차량 19.8ton(대차 7.8ton/개)

- 도시철도 전동차 : 동력차 33ton~43ton
(1호선 저항제어 동력차 48ton)
- 일반철도 및 구원용 디젤 기관차 : 123 ton
- 일반철도 전기기관차 : 88ton
- 일반철도 화물 전기기관차 : 132ton
- 경전철 : 23~35ton

탈선 및 충돌된 철도차량의 복구시 인양하중은 전체를 인양하는 경우도 있으나 대부분 한쪽만 인양하는 경우이다. 이 경우 차량하중의 50~60%가 복구에 필요하다. 본 연구에서 차종별(고속철도, 도시철도, 일반철도, 경전철) 복구장비를 제시하려 한다.

(3) 터널 및 구조물과의 간섭을 최소화 도록 장비의 사양 결정

현재까지는 최악의 상황을 가정한 시나리오에 기반하여 장비를 도입하는 과정에서 장비 각종 제약조건이 증가하여 장비의 효용성이 낮았다. 작업반경의 최소화 및 안정적인 복구작업을 주된 목적으로 장비의 사양을 결정하여 효율성을 높이하고자 하였다.

(4) 기존의 사고복구장비 활용 방안 검토

현재 모든 철도운영기관에서 다양한 사고복구장비를 운영중이다. 이들 복구 장비의 수명은 10~30년이며, 도입 단가도 2억~22억으로 다양하다. 현재 운영중인 장비의 잔존수명이 많이 남아 있고, 현재의 사고복구 전문인력들이 현재의 장비에 익숙하게 교육훈련이 수행중에 있다. 따라서 새로운 장비가 도입되어 실전에서 충분한 검증이 되기 전까지 현재의 장비와 동시에 사용하는 방안 등 다양한 방안을 검토하려 한다.

일반철도에서 발생한 열차의 탈선 및 충돌 복구장비에 대해서는 현재 사용중인 사고복구용 기중기, 유니목, 잭키트의 활용도가 높다. 그러나 교량 및 터널이 많은 고속철도 및 도시철도 구간에 대해서는 기존의 장비와 신규로 개발되는 장비의 활용을 동시에 고려하여, 각각의 장단점을 고려한 운영방안을 마련하려 한다.

(5) 철도운영기관별 사고복구장비의 상호 운영 방안 검토

사고복구에 대한 경험은 물론 비상시 사고복구장비의 상호운영방안을 검토하고, 상호운영이 가능한 기관은 합동훈련 등을 추진하는 방안을 검토하였다. 모든 철도운영기관을

상대로 철도사고복구 장비의 상호 운영을 검토하기 보다는 공간을 공유하거나 인접된 기관 혹은 유사한 차종을 운영하는 기관간의 비상시 협력체계와 장비 공통 활용방안에 대해서 검토하였다.

(6) 사고복구장비의 유지보수 및 비상대기 인력을 고려한 운영 방안 검토

사고복구 장비의 평상시 유지보수 및 비상시 활용을 위해 철도운전면허 소지자가 24시간 비상대기를 하여야 한다. 도시철도 운영기관의 경우 제2종 전기차량운전면허 소지자 이외에 장비면허 소지자를 추가로 확보하고 비상대기 상태를 유지하여야 하므로 인력운영에 어려움이 발생할 수 있다. 또한 사고복구 장비의 평상시 유지보수 비용이 고가인 경우 운영기관의 부담이 증가하여 평상시 혹은 훈련시 유지보수 비용이 최소화 되는 방안을 검토하였다.

(7) 사고복구장비의 현장운영을 고려한 장비개발

사고복구 장비에 대한 다양한 아이디어의 도출이 있었으나, 현장에서 활용성이 낮은 다음과 같은 아이디어는 제외되었다. 제외된 아이디어의 경우 요소기술이 부족하거나, 개발에 많은 시간이나, 비용이 소요되는 경우, 장비의 안전성이 낮은 경우, 장비운영에 많은 인력이 소요되는 경우, 현재의 장비와 차별성이 없는 경우 등이다.

- 구난용 헬리콥터를 이용한 탈선 및 사고 차량의 복구 : 스카이 크레인(sky crane) 개념으로 산악지역, 교량 등에서 발생한 철도사고에 대해 산림청, 방재청, 민간이 소유하고 있는 구난헬기를 활용하는 방안으로 개발이 검토되었다. 그러나, 탈선차량을 선로에 안정적으로 올리기 위해서는 cm 단위의 조작과 탈선 차량 하중의 50% 이상을 인상해야 하는 대용량이 요구되어 제외하였다.
- 터널내 탈선차량의 인상을 위한 터널내 구조물 설치방안 : 터널내 구조물을 설치하는 경우 터널의 개소와 길이가 다양하여 설치 및 유지보수 비용이 막대하여, 중앙에서 집중적으로 관리가 가능한 방안으로 전환하였다. 또한 터널의 개통 시기에 따라 터널 라이닝의 강도에 변화가 있어 인양과정에서 안정성이 낮아지는 문제가 발생하여 기획연구에서 제외하였다.
- 초전도체를 활용한 탈선차량의 복구장비 개발 : 초전도체를 이용하여 순간적으로 차량

을 인상할 수 있는 기술이 실험실단위에서는 가능하나, 사고 현장에서 적용하기에는 아직 안정화되어 있지 않고, 초전도체의 성능을 유지하기 위한 제반장비 운영상의 문제로 본 기획연구에서는 제외하였다.

- 무인 로봇을 이용한 화재진압 및 탈선복구장비 개발 : 로봇 기술을 적용할 경우 많은 이익이 있으나, 비용 및 개발기간이 증가하는 문제가 대두되었다. 본 기획연구에서는 이를 보완하여 철도차량 하부에서 재차적인 인상이 가능한 원격제어 기능을 갖는 장비 개발로 대체하였다.

(8) 복구장비의 사양

복구장비의 주요 기능을 아래의 개념도에 표시하였다. 사양으로는 인양능력 80톤 이상 (근거 : 디젤기관차의 60% 하중이며, 도시철도운영기관은 차종에 따라 감소 가능), 차량의 제원(길이 5m x 높이 3.9m x 폭3.2m 이내), 수직이동 높이 60cm 이상, 수평이동 거리 1m 이상, 장비 중량 15톤 이하 등으로 설정하였다. 이들 사양은 초기 사양으로 세부 연구과정에서 변경이 가능하다.

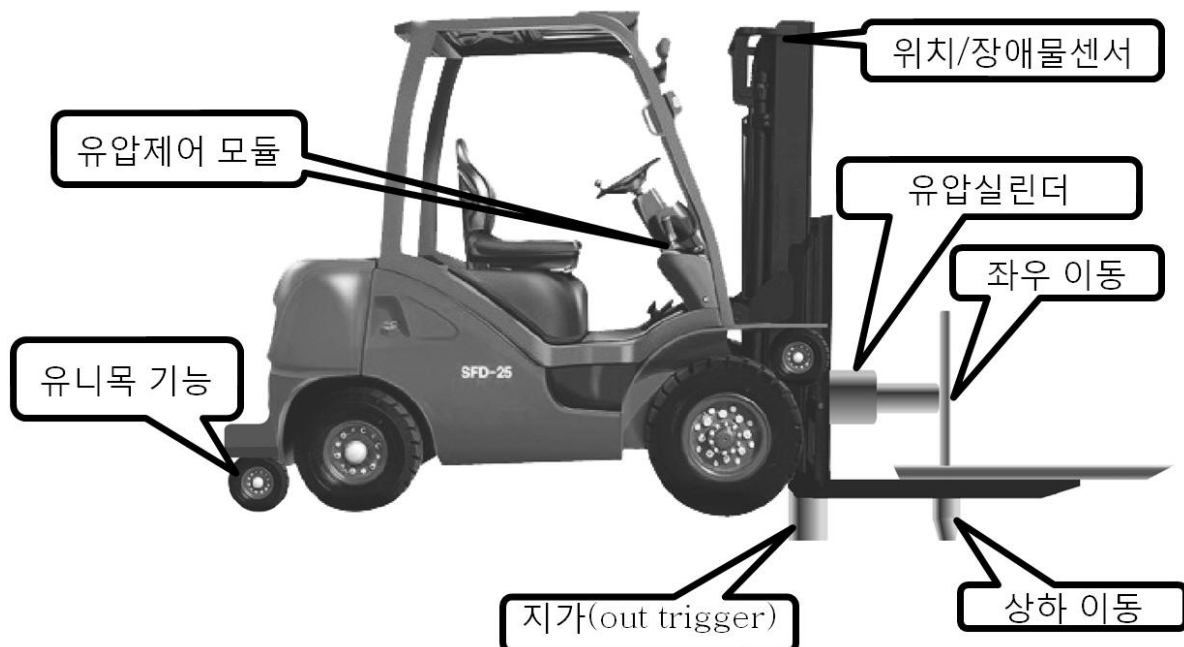


그림 96. 차량하부 인상구조의 탈선복구장비의 주요 기능에 대한 개념도

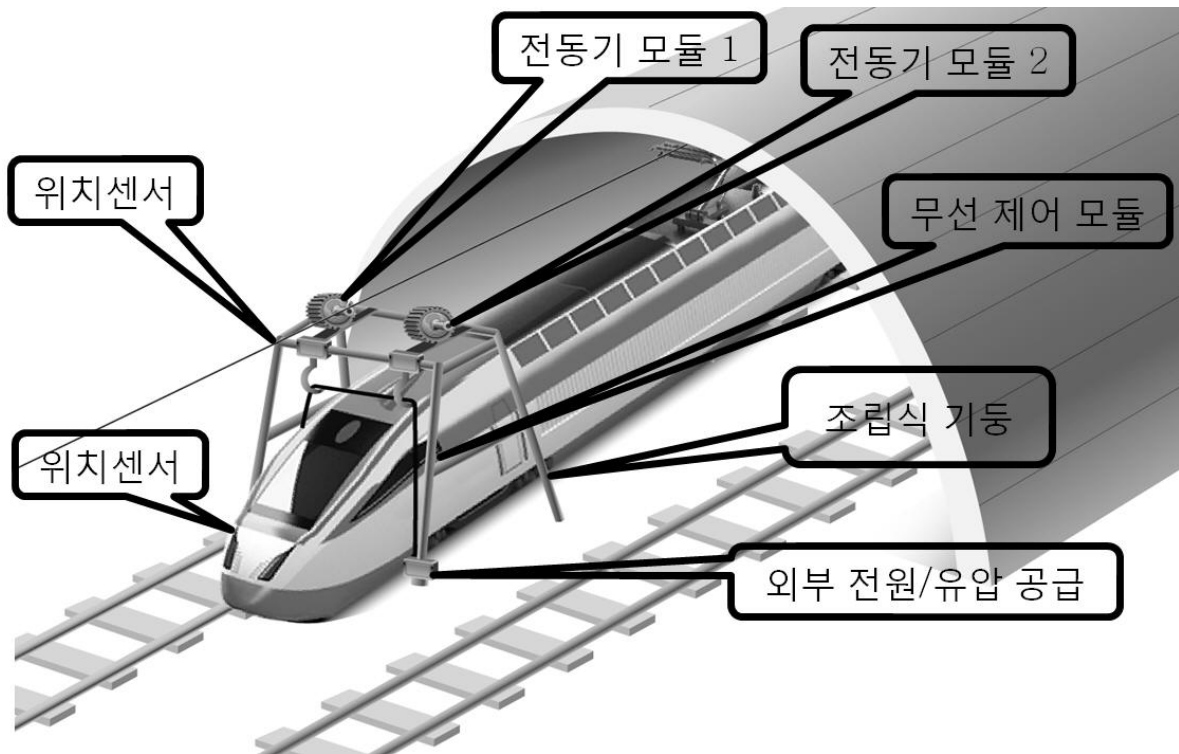


그림 97. 현장 조립이 가능한 탈선복구용 기중기에 대한 개념도



그림 98. 탈선차량의 복구장비 운영에 대한 개념도



그림 99. 충돌로 인해 파손된 차량의 임시이동을 위한 임시 이동차량 개념도

다. 화재사고 대응 및 환경오염 피해복구장비 개발

(1) 장비의 활용성을 고려한 개발

연구추진방향에 대한 전문가 검토시 철도 화재사고의 발생빈도가 낮아 효용성이 낮다는 지적이 가장 많았다. 이에 대한 대응 전략으로 위험물이나 유독물질의 누출시 대응을 위한 활용, 교량 등에서 열차의 운행 정지시에 구난용으로 활용, 터널 등 구조물의 청소 등 다양한 용도로 활용할 수 있도록 다용도로 개발을 추진하려 한다.

(2) 장비의 비용효과를 고려한 개발

철도터널은 물론 교량, 일반선로, 역사 등의 화재시 효율적으로 활용할 수 있는 화재진압용 특수구난 차량의 가장 큰 문제점은 활용빈도가 낮고, 평상시 대기 인력이 필요하다는 지적이 많았다.

그러나, 철도터널의 화재시 대응을 위해 현재 사용중인 연결송수관의 설치비용은 아래표와 같다. 이비용중 10%를 투입하면 철도구난 차량의 운영이 가능하며, 도입비용 역시 30억원 정도로 비용효과가 높게 나타난다.

(3) 장비의 운영체계 개발

터널 화재진압장비는 현재까지 국내에서 도입되어 운영된 사례가 없으며, 최근 터널의 화재안전성에 대한 문제가 제기된 이후에 관련 검토가 이루어지고 있다. 철도터널의 화재사고 시나리오는 매우 다양하여 신속한 의사결정이 필수적이며, 의사결정을 위해서는 많은 분석과 다양한 사고 경험이 필요하다. 이를 위해 화재진압 장비를 운영중인 국의의 세부 매뉴얼에 대한 분석과 이를 국내 환경에 적합하게 개선한 운영체계의 구축이 필요하다. 이를 통해 사고복구장비가 비상시에 최적의 성능을 발휘할 수 있도록 운영체계를 동시에 개발하려 한다.

(4) 철도화재사고 특성을 고려한 장비 개발

철도터널 화재사고의 특성을 고려하여 신속히 투입되는 과정에서 선로를 통해 탈출하는 여객의 안전, 화재진압 요원의 안전 등 여객은 물론 작업자의 안전을 고려한 장비개발을 고려하였다. 국외의 사례조사에서 확인된 사항으로 철도터널내 화재로 인한 연기로 시야 확보가 되지 않는 상황에서 선로를 통해 탈출중인 여객과 구난차량의 충돌로 인한 2차 피해를 예방하기 위한 기술, 화재로 인해 구난 차량이 화염으로 손상되는 것을 예방하는 기술, 화염속에서 각종 소화장비의 성능을 유지하기 위한 기술 등 다양한 기술이 고려되었다.

(5) 환경오염의 신속한 복구를 위한 장비 개발

철도터널 화재진압을 목적으로 개발된 장비의 소화탱크에 중화물질을 탑재할 경우 사고장소까지의 신속한 출동과 현장의 환경오염을 최소화 할 수 있는 복구장비로 전용이 가능하다. 국내의 위험물 유출사고 및 화재사고 빈도가 낮은 점을 고려하여 다용도로 활용이 가능하도록 개발하고자 하였다.

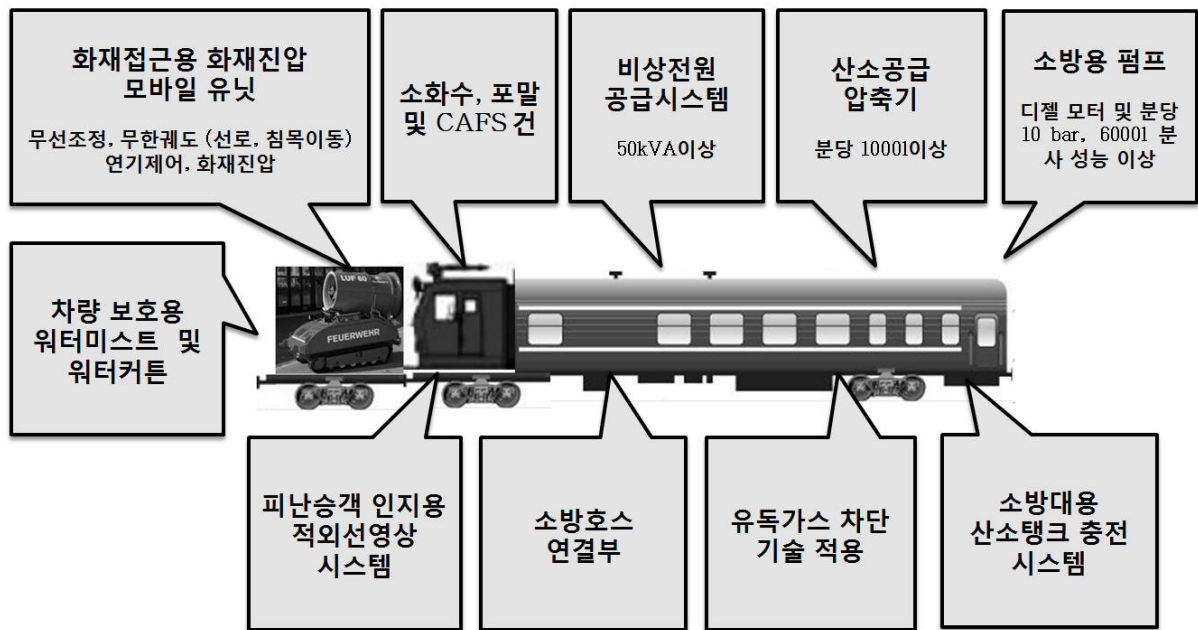


그림 100. 화재진압을 위한 소화 및 장비탑제 차량 개념도

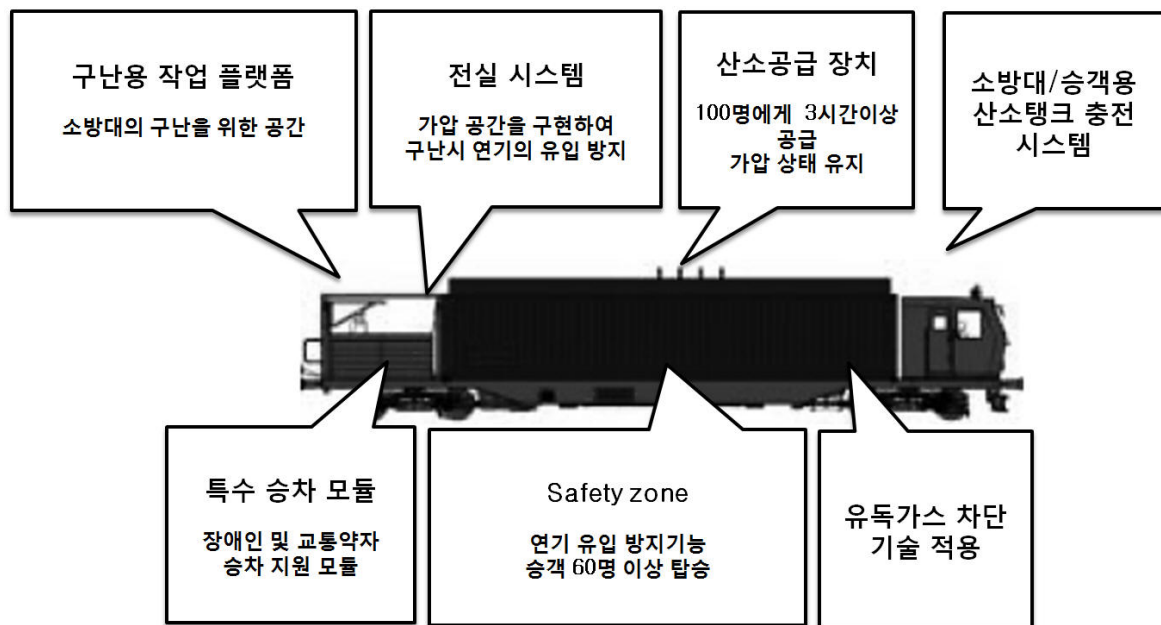


그림 101. 화재시 여객 구난을 위한 특수차량의 개념도

3절. 연구개발과제 구성

철도사고 복구시간 단축에 영향을 미치는 인자를 본 연구에서 분석하였으며, 효율적으로 사고복구 시간을 단축시키기 위해서는 ① 사고복구 매뉴얼의 개발, 장비의 운영, 의사결정과 같은 사고복구체계 구축과 같은 연구, ② 열차의 탈선사고 복구전용 장비개발, ③ 열차의 충돌사고 복구전용 장비개발, ④ 철도화재시 신속한 진압과 여객 구난을 위한 특수차량의 개발 및 운영기술 개발의 4가지 연구개발 과제가 필요하다. 각각의 연구개발 과제에 대해 다음에 기술하였다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 연구 (170억)						
	1년차	2년차	3년차	4년차	사후관리	예산
사고복구 체계 구축	SE, 사양결정				체계구축 및 장비의사후관리	20억 (4년)
	유형별 복구시나리오 개발					
	매뉴얼, 시설 및 차량안전기준 개선					
			현장 적용성 검증 및 적용			
탈선사고 복구장비 개발 연구	국내 최근 10년간 열차사고의 70%	장비개발 SE				60억 (3년)
		이동식/조립식 크레인 개발				
		지게차 형태의 크레인 개발				
		차량하부 작동 인양장치 개발				
충돌사고 복구장비 개발 연구	열차사고의 20%	장비개발 SE				20억 (3년)
		높이가 낮은 평판차량, 가대차 개발				
		복구용 대용량 Airbag 도입				
화재사고 진압장비 개발 연구	열차사고의 10%	장비개발 SE				70억 (3년)
		화재진압 차량/워터 미스트 개발				
		화재진압/대응 장비 운영방안				

본 기획연구에서 분석된 사항을 토대로 제시된 복구장비는 6종으로 크게 탈선사고 복구장비 3종, 충돌사고 복구장비 2종, 화재사고 복구장비 1종이 있다. 이들 장비를 연구 착수부터 개발할 경우 시행착오가 있을 것으로 예상되어, 사고복구 체계구축 과제를 먼저 착수하여 장비사양과 장비의 요구사항을 세부적으로 결정한 후 이를 토대로 장비의 개발을 진행하도록 구성하였다. 또한 비상시 사용되는 장비로 높은 신뢰성이 요구되어 장비 개발에 착수전 System Engineering 기법을 적용하여 시행착오를 최소화 하도록 하였다. 이러한 연구는 장비의 사양결정 및 사고복구체계 구축연구의 초기단계부터 필요하여, 해

당 과제별 참여자 각각 1인(총 3인)의 전문가가 체계구축과제에 참여하여 상호 연계활동을 하도록 구성하였다. 따라서 실제 사고복구 체계 구축 예산의 25%는 장비개발 예산으로 볼 수 있다. 또한 가장 활용도가 높은 탈선사고 복구장비의 경우 3가지 장비를 동시에 개발하여 차종별, 사고장소별로 다양하게 활용하도록 하였다. 현재 기관별로 운영중인 사고복구용 기중기, 유니목, 제크키트를 장기적으로 대체하기 위한 방안이 포함되어 있다. 개발장비의 현장적용 및 검증에는 기존에 운영중인 장비와의 연계, 장비의 문제점 해결을 위한 사후관리 등이 포함되어 있다.

화재사고 진압장비의 경우 국내에서 운행된 경험이 없어 본 기획연구의 국외 사례분석에서 세부적인 조사를 수행하였으며, 국내 환경에 적합한 운영방안 마련을 포함하였다.

4절. 세부과제별 주요내용 및 추진전략

1. 철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 연구

가. 연구개발 주요 내용

(1) 사고복구 의사결정 시스템 개발

- 철도사고 종류별(충돌, 탈선, 화재), 사고발생 장소별(터널, 교량, 역사, 일반선로) 사고복구 장비 운영전략 수립
- 사고복구 위험도평가를 통한 복구장비 운영방안 최적화

(2) 철도사고 시나리오별 복구장비 운영방안 마련

- 사고복구장비별 사고복구 시간 산정
- 차종별 사고복구 장비사양 결정
- 사고복구 취약구간 운영기준 마련
- 국외의 열차사고 정보분석을 통한 사고복구 시나리오 구성(국내 사고만으로는 사고 건수가 부족하여 다양한 시나리오 구성이 어려움)

(3) 사고복구 체계의 문서화

- 사고복구 관련 매뉴얼의 제정
- 종사자의 교육훈련, 교육프로그램, 훈련의 체계화 방안 마련
- 철도사고 복구 백서 발간

(4) 사고복구 지원체계 구축

- 복구장비의 신속한 접근을 위한 방안 마련
- 신속한 상황전달 및 최적의 복구장비결정 및 신속한 투입을 위한 방안 마련
- 사고시 복구장비별 도착예정 시간 안내를 통한 사고복구 의사결정 지원시스템 마련
- 사고복구를 위한 현행 제도개선 검토(차량안전기준 및 시설안전기준)
- 복구장비의 도로차량 탑재 기준 마련
- 도로를 통한 복구장비 이동시 신속한 이동을 위한 외부지원체계 구축
- 위험물 운송과정의 사고복구체계 마련
- 장기대책 차원의 우회선회 확보방안 마련
- 교육교재 및 교육을 위한 축소모형 제작

(5) 터널구간 및 지하역사 화재사고의 진압 및 구난차량 운영방안 마련

- 사고진압장비 운영방안 마련

나. 연구개발 추진전략

(1) 선행연구 활용

국내에서는 철도종합안전기술개발사업에서 열차의 충돌, 탈선, 화재사고의 예방과 관련된 원천기술과 관련된 연구를 수행하였다. 그러나 사고의 예방차원의 기술개발연구와 안전성에 대한 시험평가 설비구축에 목적이 있어 사고복구체계와는 차이가 있다. 다만, 사고 시나리오 구성, 비상대응 조직구성 등의 내용은 본 과제에서 활용이 가능하다. 또한, 선행연구에서 수행된 철도차량안전기준 및 철도시설안전기준관련 연구의 결과물은 철도사고 복구시 필수적인 차량안전설비, 시설내 안전기준에 대한 재검토를 통해 철도 터널 및 교량 구간중 사고 위험성이 높은 구간에 대해 적용하는 방안의 고려가 가능하다.

(2) 단계별 추진전략 수립

단기, 중기, 장기로 구분된 추진전략을 수립하여 연구수행. 단기적으로는 사고복구 장비 개발, 중기적으로는 교육훈련 및 제도개선, 장기적으로는 열차의 우회선로 확보방안 마련 및 사고복구 전문가의 국제교류 등을 추진하고자 한다.

	강점[S]	약점[W]
	• 제도개선의 기초자료 확보 • 매뉴얼 개선에 대한 정부의지 • 복구 체계에 대한 개선 요구	• 활용 빈도가 낮으나 비상시를 위해 상시대기 상태 유지가 필요
기회[O] • 사고복구 체계상의 문제점 노출 • 문제점 개선에 대한 사회적 요구 증가	SO 전략[시너지창출전략] - 체계적인 분석방법 개발 - 문제점에 대한 인식 공유를 통한 개선방안 마련	WO 전략[보완전략] - 다양한 국가기간의 지적사항의 통합반영 - 시나리오별 복구전략 수립
위험[T] • 사고복구 체계에 대한 이해 부족	ST 전략[위험최소화 전략] - 국가 지원을 통한 비상대응 체계 강화	WT 전략[위험극복 전략] - 기존 장비의 문제점 보완 - 효율적 의사결정 시스템 개발

(3) 철도운영기관의 현장 매뉴얼 및 철도안전 관련 규정에 반영

사고시나리오별 복구전략, 의사결정, 장비투입 및 자원확보 방안을 마련하여 최종적으로는 매뉴얼에 반영이 되어 훈련 및 비상대응체계 유지에 활용할 수 있도록 추진하도록 하였다.

(4) 개발 장비의 신뢰성 확보 방안 마련

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 유지보수 비용 및 인력을 최소화 할 수 있는 방안을 마련하고 실전 투입시 높은 신뢰성을 확보할 수 있도록 장비개발 및 운영방안을 마련한다. 또한 출동시 장비운영 인력을 최소화하는 방안을 고려하고자 하였다.

(5) 현재 운영장비와 동시활용 방안 마련

현재 운영중인 사고복구장비와 신규개발 장비의 공동활용 전략의 수립 방안을 모색하며, 운영기관별 복구장비의 상호운영 방안을 고려하고자 하였다.

(6) 사고복구 장비의 효용성 및 유지보수의 편의성 고려

사고복구장비의 활용 및 평상시 유지보수의 편의성을 고려하여 최소한의 비용과 인력으로 유지보수가 가능하고, 비상시 신속한 출동이 가능하도록 개발하는 방안을 모색하였다.

(7) 철도운영기관 현장의 경험 및 국내 철도운영 환경 반영

운영 노선의 특성에 따라 사고복구 장비의 현장접근성(현재 설정된 철도 구조물별 접근로로 접근이 가능하도록 설계), 인근의 민간장비의 활용방안 등을 종합적으로 검토하도록 하였다. 또한 운영기관 현장 종사자의 의견이 반영될 수 있도록 하였다. 이를 통해 신규 사고복구 장비 운영에 따른 교육의 최소화, 사고복구 장비의 이용 편의성, 복구과정에서의 2차 사고 예방, 작업자의 직무사고 예방 등을 고려하고자 하였다.

2. 열차 탈선사고 복구 장비 개발 연구

가. 연구개발 주요 내용

(1) 터널내 구조물과 간섭이 없이 사용 가능한 사고복구용 기중기

현재 사용중인 사고복구용 기중기의 작업을 위해서는 전차선의 철거 및 설치가 필요하여, 추가적으로 2시간 정도가 소요되며, 터널 및 교량내 구조물과의 간섭으로 기중기 사용이 어려운 경우도 많다. 이를 개선하기 위해 하부 인상 구조형태의 기중기를 개발하고자 하였다. 신규로 개발되는 기중기는 터널 및 교량은 물론 일반선로에서도 사용이 가능하도록 하였다.

(2) 지가(Outer trigger) 설치 장소가 부족한 교량에서 사용가능한 사고복구용 기중기

교량내 기중기의 지지 장치인 지가 설치 장소가 부족한 경우에도 작동이 가능한 기중기

를 개발하고자 하였다.

(3) 사고 장소까지 신속한 출동이 가능한 기중기

터널 및 교량구간 등의 사고에 대비해 열차 탈선 사고 장소까지 신속한 접근이 가능하도록 도로자동차 및 선로로 이동이 가능한 기중기를 개발하였다.

(4) 작업자의 작업중 작업자 부상 및 탈선차량의 파손위험이 낮은 복구장비

현재 도시철도 운영기관에서 주로 사용중인 체크키트의 경우 사고장소까지 이동중 직원의 부상위험이 높으며, 복구과정에서 안정성이 낮은 문제점이 제기되고 있다. 이를 해결하기 위해 안정적으로 이동 및 작동이 가능한 장비를 개발하고자 하였다.

나. 연구개발 추진전략

(1) 건설기계 산업의 요소기술 활용

터널 및 교량에서 사용이 가능한 기중기는 기존의 기중기의 개량이 아닌 하부인상 형태의 기중기로 전혀 새로운 장비이다. 그러나 기중기의 요소별 기술은 이미 개발되어 다양한 상품이 상용화 되어 있다. 따라서 새로 개발되는 기중기는 프레임을 설계한 후에 이미 개발된 요소기술을 조합하여 개발할 수 있도록 하였다.

(2) 개발 장비의 신뢰성확보 방안 마련

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 장비에 핵심적인 요소만을 반영하여 고장을 최소화하고, 이미 개발되어 있는 요소기술을 활용하여 신뢰성을 높이려 하였다. 또한 건설기계에서 이미 사용중인 모듈을 도입하여, 장비의 고장시 수리를 용이하게 하였다.

(3) 현재 운영장비와 동시활용 방안 마련

현재 운영중인 사고복구장비와 신규개발 장비의 공동활용 전략의 수립 방안을 모색하며, 운영기관별 복구장비의 상호운영 방안을 고려하고자 하였다.

(4) 사고복구 장비의 효용성 고려

사고장소까지의 접근로를 고려하여 접근로가 용이하지 않은 경우에는 도로차량을 이용한 접근이 가능하도록 장비를 개발하고자 하였다. 도로차량을 이용하여 철도터널 및 교량까지 진입시 접근로가 협소하거나 장애물이 있는 경우를 고려하고자 하였다. 또한 개발되는 장비가 중량물로 작업자가 직접 들고 이동할 수 없는 점을 고려하여 필요시 중량물

이동설비를 함께 활용할 수 있도록 하였다.

(5) 사고복구 시간 단축을 고려

전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의 복구장비 개발방안을 제시하였다. 이를 통해 사고복구 시간을 2시간 이상 단축할 수 있을 것으로 예상된다.

(6) 단계별 추진전략 수립

단기, 중기, 장기로 구분된 추진전략을 수립하여 연구수행. 단기적으로는 사고복구 장비 개발, 중기적으로는 교육훈련 및 제도개선, 장기적으로는 열차의 우회선로 확보방안 마련 및 사고복구 전문가의 국제교류 등을 추진하고자 한다.

	강점[S] • 요소기술 개발 완료 • 요소기술의 신뢰성이 높음 • 요소기술이 상용화되어 있음	약점[W] • 활용 빈도가 낮으나 비상시를 위해 상시대기 상태 유지가 필요
기회[O] • 신속한 사고복구의 요구증가 • 대형사고에 대한 상시대응 태세 유지	SO 전략[시너지창출전략] - 국내의 높은 요소기술 활용 - 현실화된 사고복구 시나리오 적용으로 국내 제작 및 개발 단가 저감	WO 전략[보완전략] - 현장에서 활용성을 높이기 위한 이용자 편의성 증대 - 3가지 장비별 장단점 분석 및 개발 전략 수립
위험[T] • 운영기관 자체적인 개발 및 운영어려움	ST 전략[위험최소화 전략] - 국가에서 지원을 통한 비상대응 체계 강화	WT 전략[위험극복 전략] - 기존 장비의 문제점 보완 - 장비 운영인력 최소화 방안 마련

3. 열차 충돌사고 복구 장비 개발 연구

가. 연구개발 주요 내용

(1) 충돌로 인해 변형된 차량의 이송을 위한 높이가 낮은 평판차량

터널 및 교량구간에서 열차의 충돌이나 추돌사고가 발생한 경우 차량의 변형으로 인해 차량한계를 넘는 경우 사고차량의 처리에 장시간이 소요되어, 신속한 사고복구가 어렵다. 충돌사고의 효율적 복구를 위해서는 충돌로 인해 전복된 차량을 세우고, 정비가 가능한 인근의 차량사업소까지 신속히 이동하기 위해서는 높이가 낮은 평판차량을 개발하고자 하였다.

(2) 충돌로 인해 차량한계 이상으로 변형된 부위의 절단을 위한 장비

파손이 심각한 경우 선로를 통한 파손차량의 이동이 불가능하다. 이 경우 이동중 구조물에 영향을 줄 수 있는 변형부위를 신속하게 절단하기 위한 장비를 개발하고자 하였다.

(3) 충돌로 인해 전복된 차량을 세우기 위한 대용량 에어백 도입

충돌로 인해 차량이 전복된 경우 전복된 차량을 세우기 위해서는 전복된 차량의 측면에서 활용이 가능한 에어백이 필요하다. 기존 도로차량용 에어백을 개량하여 용량을 증가시키면 철도차량에 적용이 가능하다.

(4) 파손차량의 선로이동을 위한 가대차

충돌로 차량이 심하게 파손된 경우 차량의 대차도 동시에 파손된 경우가 많다. 이 경우 신속한 이동을 위해 소형화된 가대차를 개발하여 장착하면, 효율적으로 활용할 수 있다. 파손차량의 운행속도를 낮출 경우 높이가 낮거나 소형화된 가대차의 사용이 가능하여, 이를 고려한 가대차를 개발하고자 하였다.

(5) 충돌차량을 평판차량 혹은 가대차 장착을 위한 기중기 개발(탈선복구 장비 활용)

충돌로 전복 혹은 탈선된 차량을 선로로 이동하기 위한 장비는 탈선복구용 장비를 공용으로 활용할 수 있도록 하였다.

나. 연구개발 추진전략

(1) 현재 운영장비와 동시활용 방안 마련

열차의 충돌사고로 인해 철도차량이 탈선하는 경우가 다수 발생하고 있으며, 이 경우 탈

선차량의 복구와 충돌로 파손된 차량의 복구가 동시에 필요하다. 이로 인해 탈선장비를 공동으로 운영하는 방안을 고려하였다. 또한 현재 운영중인 사고복구장비와 신규개발 장비의 공동활용 전략의 수립 방안을 모색하며, 운영기관별 복구장비의 상호운영 방안을 고려하고자 하였다. 또한 도로차량의 복구에 활용중인 소용량 에어백 다수를 활용하는 방안과 용량을 증가시킨 에어백을 도입 혹은 개발하는 방안을 검토하고자 하였다.

(2) 2층 객차 및 화차기술의 활용

높이가 낮은 평판차량의 기술은 2층 객차 및 화차 기술을 활용할 수 있다. 다만, 운행속도가 높을 필요가 없으므로, 기존보다 높이를 더욱 낮출 수 있다. 관련된 기술을 활용하거나, 기존의 평판차량을 개량하는 방안을 검토하여 개발하고자 하였다.

(3) 개발 장비의 신뢰성확보 방안 마련

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 장비에 핵심적인 요소만을 반영하여 고장을 최소화하고, 이미 개발되어 있는 요소기술을 활용하여 신뢰성을 높이하고자 하였다. 또한 건설기계에서 이미 사용중인 모듈을 도입하여, 장비의 고장시 수리를 용이하게 하였다.

(4) 사고복구 장비의 효용성 고려

사고장소까지의 접근로를 고려하여 접근로가 용이하지 않은 경우에는 도로차량을 이용한 접근이 가능하도록 장비를 개발하고자 하였다. 또한 개발되는 장비가 중량물로 작업자가 직접 들고 이동할 수 없는 점을 고려하여 필요시 중량물 이동설비를 함께 활용할 수 있도록 하였다.

(5) 사고복구 시간 단축을 고려

충돌 및 탈선으로 인해 전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의 복구장비 개발방안을 제시하였다. 이를 통해 사고복구 시간을 2시간 이상 단축할 수 있을 것으로 예상된다. 탈선복구에는 탈선복구 장비를 활용하는 방안을 고려하였다.

(6) 단계별 추진전략 수립

단기, 중기, 장기로 구분된 추진전략을 수립하여 연구수행. 단기적으로는 사고복구 장비 개발, 중기적으로는 교육훈련 및 제도개선, 장기적으로는 열차의 우회선로 확보방안 마련 및 사고복구 전문가의 국제교류 등을 추진하고자 한다.

	강점[S] • 다용도로 활용이 가능	약점[W] • 활용 빈도가 낮으나 비상시를 위해 상시대기 상태 유지가 필요
기회[O] • 신속한 사고복구의 요구증가 • 대형사고에 대한 상시대응 태세 유지	SO 전략[시너지창출전략] - 2층객차 기술개발과 연계 - 충돌사고 기초연구 결과 연계	WO 전략[보완전략] - 현장에서 활용성을 높이기 위한 이용자 편의성 증대 - 2가지 장비별 장단점 분석 및 개발 전략 수립
위험[T] • 운영기관 자체적인 개발 및 운영어려움	ST 전략[위험최소화 전략] - 주요 장소에 배치를 통한 장비의 공통활용 방안 모색	WT 전략[위험극복 전략] - 기존 장비의 문제점 보완 - 장비 운영인력 최소화 방안 마련

4. 터널화재 진압 및 환경피해 복구차량 개발연구

가. 연구개발 주요 내용

(1) 화재 진압 차량의 개발

터널내 화재사고 발생시 발화지점까지 자력으로 접근 및 진압이 가능한 구난차량의 개발과 이를 위해 필요한 요소기술로 자체 분무 시스템을 갖추고 있어 화재진압에 활용이 가능한 차량 등을 개발하고자 하였다. 또한 장비의 활용성을 높이기 위한 다목적 기능의 도입방안을 검토하였다.

화재진압 시스템(물대포, 워터미스트, 폼 등) 개발, 화재진압 지원에 위한 시스템인 소화호수, 물탱크, 연기제어용 팬 등의 개발, 무인용 소화모듈 차량의 개발이 포함된다.

(2) 구난 및 이송용 철도차량의 개발

터널이나 교량 등에서 발생한 사고시 여객을 효과적으로 구조하고, 안전한 지역까지 신속히 이동시키기 위한 철도차량의 개발이 필요하다. 이를 위해서는 여객 구조를 위해 필요한 요소기술로 연기 유입을 막는 사이의 에어록 공간 개발, 특수 승차대 모듈 개발효과적인 구조를 위한 플랫폼 및 계단, 연기 유입을 막는 사이의 에어록 공간 개발, 특수 승차대 모듈 개발 등이 필요하다.

(3) 터널화재 진압 및 구난용 특수차량의 운영에 대한 기준 개발

국내에 처음도입되는 장비로 종사자의 활용 및 운영상 시행착오를 줄이기 위해 운영기준 개발 연구를 동시에 추진하고자 하였다. 여기에는 소화/구난 특수 차량의 대기 및 접근 운영 계획 확보, 화재진압시 소방대와의 긴밀한 협조를 위한 체계 구축 등이 포함된다.

나. 연구개발 추진전략

(1) 차량 및 운영기술의 동시개발 추진

화재진압 구난차량의 요소기술은 개발되어 있으며, 이들 요소기술을 조합하는 과정에서 시행착오를 최소화 하기위해 장비의 운영성을 동시에 고려한 기술개발을 추진하고자 하였다.

(2) 다목적 활용성을 고려한 개발 추진

개발 차량의 주된 용도는 화재 진압 및 구난이나, 사고의 빈도가 낮아 위험물 및 유독물질 유출시 환경오염방지를 위한 기능을 갖춘 차량으로 신속히 개량이 가능하도록 하였다. 또한 교량구간에 정차한 열차의 승객의 대피 등 다목적으로도 활용이 가능하도록 하였다.

(3) 선행연구를 통해 개발된 요소기술의 활용

터널용 화재 진압/구난 차량의 개발에 요구되는 워터미스트, 폼의 개발, 소화호수/물탱크, 연기제어용 팬의 제어기술, 연기 유입차단을 위한 에어록 등 다양한 요소기술과 관련한 선행연구 내용을 활용하여 개발기간 단축과 개발된 장비의 신뢰성을 높이하고자 하였다.

(4) 단계별 추진전략 수립

단기, 중기, 장기로 구분된 추진전략을 수립하여 연구수행. 단기적으로는 사고복구 장비 개발, 중기적으로는 교육훈련 및 제도개선, 장기적으로는 열차의 우회선로 확보방안 마련 및 사고복구 전문가의 국제교류 등을 추진하고자 한다.

	강점[S] • 국내 화재안전 기술 수준 높음 • 선행기술 개발사례가 있음	약점[W] • 수요는 있으나 운용비용이 많이 소요됨
기회[O] • 안전하고 쾌적한 철도교통에 대한 수요 증대 • 국내 대심도, 해저터널 등 고도안전 요구 철도시설 건설 수요 증가	SO 전략[시너지창출전략] - 국내의 높은 화재안전 기술을 활용하여 세계적 수준의 철도 터널 화재 소화/구난 차량 개발 가능 - 선행기술 고도화를 통하여 적용 범위가 넓은 시스템 기술 개발	WO 전략[보완전략] - 세계시장 진출이 가능한 핵심기술을 집중 개발하여 세계시장 진출을 목표로 설정 - 병렬적 응용을 통한 시장 확대가능 기술이 되도록 기술 방향 목표 설정
위험[T] • 선진국에서 이미 핵심기술 확보한 사항이 있음.	ST 전략[위험최소화 전략] - 국내 강점 기술을 활용하여 해외 경쟁력이 있는 기술을 선택적으로 개발	WT 전략[위험극복 전략] - 기존에 철도공사에서 운영하는 복구인원과 지역 소방대원을 활용하여 철도 터널 화재 대응 가능

5절. 연구성과의 활용방안

본 기획연구의 최종성과물은 철도사고복구 체계구축 및 장비개발에 대한 기획연구 방안이다. 기획연구를 통해 총 4개 과제의 추진방안을 제시하였으며, 제시된 과제가 추진될 경우 11개의 성과물이 도출될 예정이다. 최종적으로는 철도사고 및 장애발생시 효율적인 대응이 가능하여 철도운행중단 및 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 다음 표에 본 기획연구에서 제시한 세부 과제별 최종성과물과 활용방안을 요약하여 수록하였다.

세부 과제명	최종성과물	활용방안
사고복구 체계구축	사고복구 관련 제도의 개정(기준 마련) 사고복구 의사결정 지원 체계 마련 철도사고 시나리오별 복구장비 운영방안 사고복구 관련 매뉴얼/교육 방안 마련	열차사고의 신속한 복구 및 비상대응/교육훈련
탈선사고 복구장비 개발	터널에서 활용이 가능한 지게차 형태의 기중기 접근로가 없는 사고현장에서 조립이 가능한 탈선복구용 기중기 차량 하부에서 작동 및 탈선복구가 가능한 기중기	열차탈선사고의 신속한 복구(교량/터널 포함)
충돌사고 복구장비 개발	파손차량의 신속한 이동위한 높이가 낮은 평판차량, 가대차 전복차량 복구를 위한 대용량 에어백	열차충돌사고의 신속한 복구(교량/터널 포함)
터널화재 진압/구난 차량 개발	철도터널 화재 진압/구난 차량 개발 및 요소기술 개발 - 화재진압 시스템(물대포, 워터미스트, 폼 등) - 무인용 소화모듈 차량, 구난 및 이송 철도차량 개발 소화/구난 특수 차량의 대기 및 접근 운영 계획 -화재진압시 소방대와의 긴밀한 협조를 위한 체계 구축	터널화재 사고, 위험물 누출사고

1. 철도사고복구 체계구축 방안 연구

현재 철도안전관련 법령, 하위규정, 국가고시에 대한 세부적인 분석 내용을 본문에 수록하였으며, 분석결과 철도사고복구 관련내용이 누락되어 있거나, 선언적인 내용만 기술되어 있는 실정이다. 본 기획연구의 내용은 ① 사고복구 관련 제도의 개정에 반영, ② 철도

사고복구 의사결정 시스템의 개발을 통한 철도운영기관의 기술적 지원 방안 마련, ③ 철도사고 복구 시나리오 구성을 통한 사고복구 전략 수립 및 복구장비 운영방안마련, ④ 사고복구와 관련된 다양한 국가매뉴얼 및 철도운영기관의 매뉴얼의 제개정, ⑤ 사고복구 장비의 사양결정을 통한 사고복구 장비 도입방안 마련에 활용이 가능하다.

2. 탈선사고 복구장비 개발 방안 연구

본 기획연구에서는 3종의 탈선복구 장비 개발 방안을 제시하였다. 현장에서 조립이 가능한 기중기, 지게차 형태의 하부인상 구조의 기중기, 차량하부에서 작동하는 형태의 개량된 기중기를 제시하였다. 3종의 복구장비는 모두 터널, 교량 및 일반선로에서 활용이 가능하도록 제안하였으며, 현재의 사고복구 기중기보다 구매 및 운영비용, 유지보수 비용이 크게 감소되어 현장의 활용성을 높였다. 또한 복구 장비 개발시 시행착오를 최소화 하기 위해 관련된 요소기술을 조사하였으며, 이를 활용하여 개발하도록 제시하고 있다.

3. 충돌사고 복구장비 개발 방안 연구

본 기획연구에서는 충돌사고로 인해 변형이 발생한 사고차량을 신속히 처리하기 위한 장비로 높이가 낮은 평판차량과 가대차, 전복된 차량의 복구를 위한 대용량 에어백 개발 방안을 제시하였다. 탈선 복구장비와 마찬가지로 세부적인 요소기술이 개발되어 있어 신뢰성이 높은 장비를 제시된 기한내에 개발할 수 있을 것으로 예상된다.

4. 터널 화재 진압 및 환경피해 복구용 특수차량 개발 방안 연구

국내에서는 철도터널의 화재 진압을 위한 특수차량과 관련 운행 경험이 없어, 본 기획연구를 통해 특수차량의 도입방안, 도입시 운영방안, 특수차량의 개발시 관련되는 요소기술 등을 조사하였다. 이를 토대로 특수차량의 개발방안, 개발된 차량의 효율적 활용을 위한 다목적 기능 및 이의 운영방안을 제시하였다. 이를 활용할 경우 현재 막대한 비용을 투자하여 설치중인 연결송수관을 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

6절. 연구수행체계 제안

본 기획연구는 새로운 장비개발을 제안하고 있으며, 신규장비의 개발을 위한 국내외 현황조사와 사전연구를 포함하고 있다. 철도사고 복구 장비의 개발을 위해서는 장비의 요구사항, 장비의 운영상의 문제점, 장비의 세부적인 사양이 결정이 필수적이다. 이를 위해 철도사고복구 체계구축 연구를 먼저 착수하여, 장비의 세부적인 사양과 요구사항을 도출한 후에 이를 활용한 장비개발 연구의 착수가 필요하다. 따라서 본 과제에서 제안하는 4개의 세부 연구내용을 동시에 착수하는 방안 보다는 체계구축 연구를 통해 장비의 세부적인 사양결정을 위한 선행연구를 추진하고, 이를 바탕으로 장비개발 연구를 착수한다면, 현장에서 신규장비의 도입 및 운영으로 인한 시행착오를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 철도사고 복구체계 및 장비 운영에 대한 사후 관리를 통해 장비의 개량 및 사고복구체계의 개선 사항이 필요할 경우를 대비해서 4개의 세부과제가 종료된 이후 6개월 간의 현장지원에 대한 후속 지원 과제가 필요하다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축을 위해서는 현행 제도와 각종규정, 현재 운행 중인 장비의 문제점, 사고복구과정의 문제점 등을 파악해야 한다. 그러나 이러한 많은 내용이 문서화 되어 있지 않고, 개인의 경험에 의존하고 있는 실정이며, 이러한 경험을 소유한 다수의 전문가들이 향후 5년간 철도운영기관에서 퇴직 예정이다. 철도사고의 복구 장비 현장 투입을 위해서는 철도운행환경에 대한 이해, 터널 및 교량의 현황, 사고복구 장비의 출동방식 등에 대한 검토가 필요하다. 국내의 경우 철도가 통과하는 도심구간의 교통정체, 사고복구장비의 선로 진입가능 위치, 도시철도 역사의 특성 등 고려할 사항이 많이 있다. 도시 외곽의 교량 및 터널의 경우 도로를 이용한 접근의 어려움, 협소한 접근 도로로 장비운영의 어려움 등이 있다. 따라서 연구개발을 위해서는 철도사고 자료의 분석, 철도현장의 이해가 높아야 한다. 이러한 이유로 그동안 선행연구가 진행되지 못하였다. 반면, 사고복구체계 및 장비에 대한 수요가 많지 않아 민간기업에서 참여의지가 낮으며, 국외에서 개발된 장비의 도입에 의존하여왔다. 철도운영기관에서 사고복구체계 및 장비의 자체개발에는 한계가 많아 정부의 지원이 필요하다.

정부의 지원하에 국내의 철도운영기관, 철도시설관리자, 연구기관의 전문가가 참여하여 효율적인 사고복구 체계를 구축하고, 이를 토대로 복구장비를 개발하면, 효율적인 운영이 가능할 것으로 예상된다. 탈선사고복구 장비의 경우, 국내의 건설기계산업에서 요소기술에 대한 개발 및 생산 능력이 확보되어 있어 국내의 건설기계관련 유관단체와 협력할 경우 신뢰성이 높은 장비를 단시간에 개발할 수 있을 것으로 예상된다. 충돌사고 복구 장비의 경우 기존의 철도차량관련 요소기술의 활용이 가능하다. 화재사고복구 장비의 경우 요소기술은 국내에서 선행연구를 통해 개발된 경험이 있으나, 이를 조합한 장비의 개발과 운영기술은 부족하여 연구를 통한 개발이 요구된다.

4장. 사전 타당성 검토

1절. 정책적 타당성

철도사고 복구는 국가의 기반이 되는 철도교통수단의 안정적인 운영을 위해 필수적인 사항이며, 비상시 대응체계와 사고복구에 대해서는 주무부처인 국토해양부는 물론 국무총리실, 행정안전부, 소방방재청, 해당 지자체 등 다양한 기관에서 관심을 갖고 있는 사항이다. 그러나 철도운영기관 자체적으로는 국가적인 사고복구체계 구축에 한계가 있으며, 국가의 지원을 필요로 하는 사항에 대해 요구가 어렵다. 또한 사고복구를 위한 장비개발을 위한 연구인력을 보유하고 있지 않으며, 사고복구를 위한 국내외 장비개발 업체와 협력이 어려운 상황이다. 따라서 사고복구체계 구축 및 복구용 장비개발을 철도운영기관 자체적으로 마련하기에는 한계가 있으며, 국내에서 전문성을 보유한 전문기관이나 관련 업계의 협력을 통한 개발이 요구된다. 그러나 사고복구 장비의 수요가 많지 않아 관련 업계에서는 자발적으로 개발을 추진하지 않고 있는 실정이다.

2011년 발생한 고속열차의 터널내 탈선사고, 2012년 발생한 종로5가역의 열차탈선사고, 2003년 대구지하철화재참사는 열차사고의 대응 및 사고복구의 중요성이 제시된 사고들이다. 이로 인해 철도운영기관에서는 철도사고 복구와 관련된 장비를 필수 운영장비로 지정하여 운영중이며, 사고복구와 관련된 인원에 대해 24시간 비상대비 체계를 갖추고 있다. 정부에서는 이를 지원하기 위한 위기대응체계를 상시로 가동하고 있다. 그러나 사고복구에 대한 전문성 부족과 장비운영의 제약으로 어려움을 겪고 있는 실정이다.

국내는 정책적으로 열차운행속도 향상을 위해 지속적으로 터널과 교량구간이 증가하는 추세로 터널 및 교량구간에서 발생한 철도사고의 신속한 복구장비의 개발은 국가정책에 부합하는 사항이며, 국가 기간 교통망으로서의 역할을 수행하기 위해 필수적인 장비이다.

철도사고 복구체계 및 장비가 확보된다면, 열차운행 중단시간을 최소화 할 수 있어 열차 우회선로 부족에 대한 우려나 장대터널의 화재시 대응에 대한 우려를 줄일 수 있다.

정부의 지원을 통해 사고복구체계가 구축되고, 원천기술이 확보된 건설기계 산업체나 연구소에서 관련된 사고복구 장비를 개발하여 보급한다면 국내의 철도운영기관은 물론 국외의 철도운영기관에도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

이러한 중요성에도 불구하고 철도사고복구 체계와 장비개발 연구는 전문가가 부족하고, 평상시가 아닌 비상시에만 활용되는 장비로 국가의 중요정책에서 누락되어 왔다. 2011년도에 국토해양부에서 제시된 1차와 2차의 KTX 안전강화대책의 내용에도 사고복구와 관련된 내용은 전혀 포함되어 있지 않다. 정부, 연구원, 학계, 산업체의 전문가들의 경우 사고예방에 초점을 둔 정책을 추진하고 있어, 사고발생시 어떻게 처리하는가의 문제는 다루지 못하고 있다. 다음에 KTX 안전강화 대책의 주요 내용을 수록하였다. 다음의 대책을 보면 정부 정책의 추진방향을 알 수 있다. 대책에는 국토해양부 2개, 철도공사, 제작사 등의 대책이 있다.

번호	고속철도 장애 개선 과제명	이행시기
1	항공기 수준의 정비관리 시스템 도입	단 기
2	고속철도차량 신뢰성 확보	시 급
3	고속철도차량 엔지니어링 전문인력 확보	시 급
4	고속철도차량 장애발생부품 품질확보	중장기
5	부품의 신뢰성 확보를 위한 모니터링체계 구축	중장기
6	고속철도차량 중수선 시험체계 및 평가기준 마련	중장기
7	유지보수품의 효율적 재고관리 방안마련	시 급
8	유지보수품 구매 및 외주수선시 품질확보	단 기
9	부품 유지보수사항 이력관리방안 마련	시 급
10	고속열차 열차팀장을 전문기술직으로 전환	단 기
11	고속철도차량 검수설비 및 시험기기 확보	중장기
12	IT기술을 활용한 과학적 유지관리체계 구축	단 기
13	고속철도 선로전환기 장애발생 방지대책 마련	단 기
14	선로전환기 고장감시를 위한 통합관리시스템 구축	단 기
15	고속철도(1단계) 노후 전기설비 개량필요	중장기
16	고속철도 중요 신호설비 이중화 구축	중장기
17	신호제어설비 주요부품 사용주기 지정	단 기
18	신기술 도입시 사전 안전성 검증절차구축	단 기
19	유지보수 작업차량의 이동속도 개선	중장기
20	관제업무 관계자의 책임과 권한 강화	시 급
21	인적사고 방지를 위한 관제사의 의사전달체계 표준화	단 기
22	시나리오에 기반한 비상대응 열차스케줄(DIA) 마련	단 기
23	안전을 최우선으로 하는 경영방침 구축	단 기
24	고속철도 전담조직 구성방안 마련	중장기
25	안전기능 강화를 위한 안전조직 독립성 확보	시 급
26	종사자 전문성 제고를 위한 교육훈련프로그램 마련	단 기
27	고속철도 외주위탁의 업무대상 및 업체 선정기준 강화	단 기

28	부실업체에 대한 제제 및 품질관리 강화	시 급
29	고속철도 유지보수를 위한 필수작업시간 확보	시 급
30	위험도기반의 철도안전관리 체계조기 구축	단 기
31	인적오류 방지를 위한 사고분석 및 교육훈련 시행	시 급
32	조직내 안전문화 평가제도 도입	단 기
33	위험등급별 유지보수작업 평가제도 도입	단 기
34	사고유형·사고규모별 전사적 대응절차 마련	단 기
35	고속선 유지보수 매뉴얼 일제 정비	시 급
36	고속철도차량 부품분해검수 주기 준수를 위한 대책마련	중장기
37	고속철도차량 경정비업무 외주용역 관리방안 마련	
38	고속철도차량 편성별 중정비검수를 위한 중장기계획 수립	
39	고속철도차량 전 과정 통합 신뢰성 관리체계 도입	
40	고속철도차량 부품 신뢰성 관리 활동 강화	
41	고속철도차량 연기감지 표시 및 운영 매뉴얼 보완	
42	고속철도차량 제작·설계 검증을 위한 기술력 확보	
43	고속철도차량(KTX) 중정비 매뉴얼 확보	
44	철도차량 안전기준에 관한 지침 이행 준수	
45	전기기관차 접촉기 등 주요부품 수명주기 산정기준 마련	
46	전기기관차의 애자 및 피뢰기 검수절차 마련	
47	일반차량 중정비 시 부품별·장치별 품질확보 체계 마련	
48	철도차량 유지보수를 위한 중장기 인력수급대책 마련	
49	일반차량 유지보수 중장기 전략 마련	
50	일반차량 종합 신뢰성 관리 체계 도입	
51	일반차량 부품 이력 관리 및 고장원인 분석 미흡	
52	이상기후에 의한 기온 급강하시 차량관리기준 보완	
53	지진감시시스템 실효성 확보방안 마련	
54	차축온도검지장치(HBD)의 검지 정확도 향상	
55	경부고속선2단계 신호설비 장애발생 저감대책 마련	
56	장치간 기능이 분산된 신호감시·제어설비 통합 구축	
57	고속선 전차선로 마모 방지대책 마련	
58	KTX 기존선 운행구간(노량진~금천구청) 선로 보강	
59	경부선 전차선로 지지용 구조물(영등포~구로) 보강	
60	관제사고 방지를 위한 표준화된 관제관리매뉴얼 마련	
61	타진로 열차진입 방지를 위한 관제경보기능 강화	
62	철도차량의 품질확보를 위한 현장 품질관리조직 마련	
63	고속철도차량 정비능력 향상방안 마련	
64	고속철도 전문교육 이수자 활용방안 마련	
65	신규 장비 선정·도입시 운영자 참여방안 마련	
66	책임사고 유발자에 대한 인적오류 해소방안 마련	
67	안전교육 내실화 및 전문가에 의한 순회교육 시행	
68	지역본부의 KTX 차량 비상대응 교육훈련 대책 마련	

69	KTX 차량 고장방지를 위한 차량 일제점검 등 대책시행	
70	공기배관(10건), 배관 연결부 축소 및 지지대추가	시 급
71	고압회로(4건), 피뢰기/부자재 교체 및 페라이트 코아설치	시 급
72	모터블럭(3건), 냉각팬 프레임 절연보강, 에어필터, 반도체소자	시 급
73	공조장치(2건) * 수동차단 스위치 추가, 열 튜브 추가	시 급
74	트리포드 Safe-set(1건), 슬립/슬라이드 제어방법 개선	단 기
75	견인중 제동체결(1건), 배선점검 및 시험운행	단 기
76	신호장치(1건), 소프트웨어 버전 및 Cable점검	단 기
77	품질조직	시 급
78	후속차량 문제점 보완	단 기
79	팬터그래프 조립체 교환	단 기
80	복합열차 관련 보완	단 기
81	고속철도차량 연기감지 표시 및 운영 매뉴얼 보완	중장기
13	- 차축온도검지장치(HBD)의 검지 정확도 향상	중장기

2절. 기술적 타당성

과거에는 국내의 건설기계개발 기술이 부족하였으나, 최근에는 관련된 기술이 급격히 발전하였다. 또한 건설장비의 세부적인 요소기술들이 모듈화되어 있어, 사고복구장비 개발시 전체를 개발하는 개념이 아닌, 복구 장비의 프레임을 설계한 후에 에너지 공급 모듈, 이송모듈, 견인모듈, 체인 제어 모듈, 유압제어 모듈 등 세부적인 기술들이 모듈 등을 조합하는 기술이다.

철도사고 복구장비의 사양에 있어 과거 디젤기관차의 하중을 고려하여 장비의 사양을 결정하였다. 이로 인해 국내에서 제작 가능한 업체가 없는 수준으로 장비의 사양이 높아져 전량 국외에서 도입하여 유지보수상의 문제가 제기되었다. 그러나 최근에는 디젤차량이 감소하는 추세이며, 고속철도, 도시철도의 경우 차량의 하중이 크게 감소하여 국내업체가 제작이 가능한 수준이 되었다. 이와 동시에 국내의 건설기계 제작업체의 기술력이 향상되었으며, 관련 기술이 모듈화되어 새로운 장비의 개발환경이 크게 개선되었다.

철도터널의 화재사고 진압 및 구난장비의 경우 2004년부터 관련연구가 수행되었으며, 사고진압 및 구난을 위한 요소기술이 상당부분 개발되었다. 다만, 요소기술에 대해 검증 등이 필요한 분야에 대해서 추가적인 연구가 필요하며, 이들 연구를 조합하면 특수구난 차량의 개발이 가능할 것으로 예상된다. 특수구난 차량은 국외에서 개발되어 운영중이나, 유지보수 및 개량이 빈번히 이루어지고 있어 국내 도입시 어려움이 예상된다. 또한 국내에서 최초로 개발 운영되는 점을 고려하면, 연구개발과 동시에 추진이 필요하다. 다만, 요소기술이 개발되어 있는점과 국외의 운영기술에 대한 분석을 본 기획연구를 통해서 완료되어 제안된 과제추진 기간동안 신뢰성이 높은 장비의 개발이 가능할 것으로 예상된다.

여기에 철도운영 특성을 고려한 장비의 사양설계, 철도 선로 및 도로차량을 이용한 장비의 운영, 종사자의 교육 등 복합적인 기술이 동시에 고려된다. 과거에 사고복구 장비 개발시 가장 어려웠던, 세부적인 모듈의 요소기술이 건설기계 산업이나, 철도안전 연구과정에서 개발되었다. 따라서, 본 기획연구에서 제시된 복구장비 개발과정의 기술적 타당성은 입증되었다고 볼 수 있다.

본 기획연구를 바탕으로 장비가 비상시 사용되는 점을 고려하여 장비개발시 개발 장비의 현장 활용성과 신뢰성, 작업자의 안전성을 동시에 고려하도록 한다면, 국내의 활용은 물론 국제적으로도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

3절. 경제적 타당성

철도사고시 신속한 대응을 위해 매년 철도운영기관에서는 사고복구훈련 및 사고복구 인원을 24시간 비상대기 체계를 유지하고 있다. 관련 인력의 상시 비상대기가 필요하며, 장비 운영을 위한 기관사, 복구인력, 복구 책임자 등 많은 인원이 관련되어 업무 부담이 크다. 따라서 많은 철도운영기관에서는 관련 부서의 근무를 기피하는 경우도 발생하고 있다.

사고시 최소 2개 이상의 복구장비를 동시에 출동시켜 사고복구장비의 고장 및 기타 예상치 못한 사고에 대비하고 있다. 반면, 사고복구 장비는 사고복구 이외의 용도인 철도건설이나 유지보수 작업에 활용할 수 없도록 대부분의 철도운영기관 사규에 규정되어 있다. 반면, 철도사고 빈도가 지속적으로 감소하는 추세로 경우에 따라서는 철도사고 복구용 장비의 훈련을 제외하면, 실전에 활용한 실적이 연간 1회 미만이거나 없는 경우도 발생한다.

철도터널의 화재시 화재진압을 위해 설치하는 연결송수관의 경우 1km 건설시 3억원, 10km 건설시 25억, 20km 건설시 48억 이상의 막대한 예산이 소요된다. 반면, 화재사고시 활용면에 있어 신속한 대응이 어려우며, 다양한 유지보수가 필요하다.

본 기획연구에서 제안한 사고복구체계 구축연구를 통해 효율적인 대응체계를 마련한다면 비상대기 장비 및 인력에 대한 최적화가 가능하여 불필요한 비용을 절감할 수 있을 것으로 예상된다.

사고복구장비에 있어 현재 탈선복구장비인 철도사고복구 기중기의 대당 구매가는 22억원이나 이를 대체하기 위해 본 과제에서 제한한 장비는 대당 구매가가 5억 미만으로 경제성이 높다. 또한 유지보수 비용이나, 장비 이동을 위한 추가인력을 최소화할 수 있다. 국제적으로 수요가 적어 관련장비에 대한 요구는 있으나 개발비 등의 부담으로 많은 국가에서는 2~3개 업체에서 개발한 복구장비를 수입하여 사용하고 있다. 본 기획연구에서 제안한 장비는 전혀 새로운 형태의 장비로 개발이후 국제적으로 판매가 가능할 것으로 예상된다.

화재사고 복구/진압 장비의 경우 연구개발비를 제외하면 장비의 도입가는 특수차량 편성당 40억 미만이며, 국내에 대해 8편성을 운영한다고 가정하면 300억으로 국내의 연결송수관의 설치 및 유지보수 비용대비 경제성이 매우 높다고 할 수 있다. 이로 인해 유럽의 많은 국가에서 기존의 연결 송수관을 대체하는 방안으로 특수 구난 차량의 도입이 추진 중에 있다.

탈선복구장비의 경우 복구장비의 수명을 30년으로 설정한 경우 기존의 운영중인 사고복구용 크레인과 개발장비 사용시의 기대이익을 다음의 표에 수록하였다. 아래표에서 사고복구 시간 단축으로 얻어지는 이익은 비용으로 계산하기 어려워 제외하고 산출하였다.

표 11. 탈선복구장비의 경제적 타당성 비교(사고복구 시간 비용 제외)

	현행 장비	개발 장비	기대 이익
복구장비 구축비용	308억 (22억×14대)	70억 (5억×14대)	238억
유지보수 비용	84억 (0.2억×14대×30년)	4.2억 (0.01억×14대×30년)	80억
인력운영 비용	210억 (0.5억×14대×30년)	84억 (0.2억×14대×30년)	126억
계 (연평균 비용)	602억 (20억)	158억 (5.3억)	444억 (14.8억)

화재복구장비의 경우 현재 설치가 진행중이거나 설치예정인 연결송수관의 대체비용, 혹은 내구연한이 되어 교체가 되는 연결송수관의 길이를 400km로 가정하여 20년 수명으로 계산하였다. 이 경우 기대 이익은 20년간 492억으로 연평균 25억의 기대이익이 예상된다. 여기에는 화재진압차량의 운영을 위한 전문인력 운영비용이 포함된 비용으로(현행 화재안전관리자와 병행시 추가비용 없음) 산정하였다.

표 12. 화재복구 장비의 경제적 타당성 비교

	현행장비	개발 장비	기대 이익
진압장비 구축 비용	1,200억 (3억×400km)	700억 (50억×14편성)	500억
유지보수 비용	80억 (0.01억×400km×20년)	28억 (0.1억×14편성×20년)	52억
인력운영 비용	80억 (0.01억×400km×20년)	140억 (0.5억×14편성×20년)	-60억
추가 이익	터널 청소	사고시 인명구난 오염사고 유독물질 제거	미계산
계 (연평균 비용)	602억 (30억)	158억 (7.9억)	492억 (25억)

충돌로 인해 터널에서 차량이 파손된 경우는 국내에서 발생하지 않았으며, 관련 장비가 구축되어 있지 않은 실정으로 신규로 구축예정이다. 따라서 현행 장비가 없는 상황으로 상호비교가 불가능하여 수록하지 않았다.

4절. 기술개발 필요성

열차운행속도 향상을 위해 국내에서는 지속적으로 터널 및 교량구간이 증가하는 추세로, 터널 및 교량구간에서 발생한 열차사고의 복구는 일반선로에서 발생한 사고에 비해 보다 많은 복구시간이 소요된다. 철도 터널내에는 전차선 이외에 많은 천정내 구조물과 천정 높이로 인해 사고복구용 기중기의 붐대를 이용한 인상작업에 필수적인 공간의 확보가 용이하지 않다. 터널의 단면이 비교적 넓은 경부고속철도 터널의 경우 전차선을 철거한 경우에도 터널의 높이를 고려하면 기중기의 운영각도가 14° 이내로 안정적인 작업을 위한 공간이 확보되지 않는다. 또한 분기기가 설치되지 않아 터널 단면이 낮은 경우는 기중기 작업이 불가능하다.

철도운영과 관련된 다양한 규정 및 매뉴얼에는 차량고장이나 비상시 터널이나 교량을 피하여 일반선로나 역사에 정차하도록 하고 있으나, 실제로 많은 사고가 터널이나 교량에서 발생하고 있다. 국내의 경우 터널이나 교량의 비중이 높아 위험성이 더욱 높다. 예로서 '11년 광명역 부근 일직터널에서 발생한 KTX 열차 탈선사고의 경우 사고복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 중국에서 발생한 교량내 고속열차 충돌사고는 복구장비가 없어 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하는 방법을 적용하여 많은 비난여론이 있었다. 대구지하철 화재사고나 일본에서 '11년 홋카이도 터널에서 발생한 열차화재사고의 경우 열차화재로 인한 차량전소는 물론 구조물 손상으로 장시간의 열차운행중단이 유발되었다.

국내의 경우 우회선로가 부족하고 열차운행 밀도가 높아 사고발생시 사고복구 시간이 부족하며, 사고복구 지연시 철도운영자는 물론 여객의 피해가 급격히 확대되는 구조적 문제가 있다. 최근에는 열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하는 추세이다. 열차의 충돌·탈선·화재사고가 일반선로에서 발생한 경우 신속한 복구가 가능하나, 터널 및 교량구간에서 발생한 경우 사고복구용 기중기의 사용제한 및 복구장비의 사고장소 접근상의 어려움으로 사고복구 시간이 2시간 이상 증가하는 문제가 있다. 현재까지는 열차의 운행중 탈선 및 충돌사고가 발생한 경우 복구용 기중기를 이용하여 복구가 가능하였다. 그러나 터널, 교량, 복합역사의 경우 복구용 기중기 사용을 위한 공간의 제약으로 휴대용 복구장비인 제크키트를 이용하였다. 휴대용 제크키트의 경우 복구작업자가 사고 현장까지 들고 이동하는 과정에서의 어려움과 복구 과정에서 2차 사고 위험성이 높은 문제점이 있다.

신속한 연구수행을 통해 향후 철도터널 및 교량에서 발생한 열차사고에 대한 대응방안 마련이 필요하다. 또한 향후 교체 예정인 노후된 복구장비의 교체시기전 개발 및 투입전략 수립과 동시에 추진이 필요하다.

5절. 정부지원 타당성

2011년 광명역 부근 터널에서 발생한 KTX 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고는 국민의 철도안전에 대한 신뢰를 추락시키는 사고였다. 국내에서는 이러한 대형참사는 물론, 대형 참사로 연결될 수 있는 열차사고(열차의 충돌, 탈선, 화재사고)와 철도건널목 사고가 수시로 발생하고 있다. 또한 현장에서는 인적·물적피해가 없는 사고로 연결될 수 있는 운행장애가 다수 발생중이다.

철도에 대한 국민의 신뢰를 회복하고, 철도 노선 및 여객수의 지속적인 증가에 부응하기 위해서는 철도사고에 대한 신속한 대응체계 구축이 필수적이다. 이를 위해서는 정부의 제도개선, 철도운영자의 장비확보, 종사자의 교육훈련 등이 요구된다. 그러나, 이러한 활동은 다수의 예산이 수반되는 반면, 단기적인 효과는 나타나지 않아 민간에서 투자를 기피하고 있는 분야이다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축을 위해서는 현행 제도와 각종규정, 현재 운행 중인 장비의 문제점, 사고복구과정의 문제점 등과 연결되며, 국가 기반 교통망과 연계되어 있다. 철도사고의 복구장비 현장 투입을 위해서는 철도운행환경에 대한 이해, 터널 및 교량의 현황, 사고복구 장비의 출동방식 등에 대한 검토가 필요하다. 국내의 경우 철도가 통과하는 도심구간의 교통정체, 사고복구장비의 선로 진입가능 위치, 도시철도 역사의 특성 등 고려할 사항이 많이 있다. 도시 외곽의 교량 및 터널의 경우 도로를 이용한 접근의 어려움, 협소한 접근도로로 장비운영의 어려움 등이 있다. 따라서 연구개발을 위해서는 철도사고 자료의 분석, 철도현장의 이해가 높아야 한다. 이러한 이유로 그동안 선행연구가 진행되지 못하였다. 반면, 사고복구체계 및 장비에 대한 수요가 많지 않아 민간기업에서 참여의지가 낮으며, 철도운영기관의 경우 자체개발 보다는 국외에서 개발된 장비의 도입에 의존하여왔다. 그러나, 국내의 철도 터널 및 교량이 지속적으로 증가하고 있으며, 철도운영기관에서 사고복구체계 및 장비의 자체개발에는 한계가 많아 정부의 지원이 필요하다.

정부의 지원하에 국내의 철도운영기관, 철도시설관리자, 연구기관의 전문가가 참여하여 효율적인 사고복구 체계를 구축하고, 이를 토대로 복구장비를 개발하면, 효율적인 운영이 가능할 것으로 예상된다. 열차사고의 복구장비와 관련된 기술은 국내의 건설기계 관련산업체에서 확보하고 있으나, 철도산업에 대한 수요가 많지 않아 적극적으로 연구 및 개발에 나서지 않고 있다. 국가에서 철도사고복구 장비에 대한 지원을 한다면, 국내의 철도운영기관, 건설기계 제작업체 등에서 그 동안 확보된 기술력을 바탕으로 신뢰성이 높은 장비의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

6절. 사고복구 전문가 의견 수렴

본 기획연구를 통해 많은 전문가의 자문과 토론회가 있었다. 전문가 의견수렴과정에서 사고복구 장비 및 체계에 대해 첫 번째 제안은 한국철도공사와 도시철도운영기관을 별도로 구분한 연구 수행 요청이 있었다. 이유는 한국철도공사의 경우 다양한 차량을 운영하고 있으며, 역간 거리가 길고, 전국적인 조직을 갖추고 있는 반면, 도시철도 운영기관의 경우 차종이나 사고의 형태가 비교적 단순하고, 사고시 역사의 계단을 통한 복구장비의 현장접근이 요구되는 경우가 많이 있어서였다. 본 기획연구에서 수행된 의견수렴, 전문가 자문의 내용을 다음에 요약하였다.

1) 한국철도공사의 사고복구에 대한 전문가 의견 수렴

개통 이후 최초로 발생한 고속열차의 터널내 탈선사고의 복구과정에서 제시된 사고복구 체계, 장비운영, 인력운영의 문제에 대해 철도공사 본사의 전문인력, 철도공사 차량사업소(KTX 사고복구 참여자중심), 철도공사 승무사업소, 사고복구용 기중기 유지보수 및 관리자에 대한 자문과 의견수렴을 수행하였다. 이를 통해 도출된 의견을 정리하여 연구개발 방향에 반영하였다.

2) 정부부처의 사고복구에 대한 전문가 의견 수렴

정부부처의 의견수렴은 철도사고복구체계를 중심으로 이루어 졌으며, 국가에서 관리하는 표준매뉴얼, 철도운영기관에서 관리하는 위기대응 실무매뉴얼, 현장조치 행동매뉴얼 등에 대한 개선방안 검토 등이 이루어 졌다. 또한 이의 실행과정에서의 문제점 파악을 위해 수행된 다양한 사고복구 및 대응훈련에 참여하였다.

행정안전부 재난안전실, 소방방재청 재난대비과 및 주무부처인 국토해양부 철도기술안전과에 대해 수행하였다. 또한 과제 진행 기간중 위기대응체계에 대한 전체 철도운영기관에 대한 점검, ITX-청춘 개통대비 재난대응훈련, 소방방재청의 인전재난대비 훈련(KTX 탈선사고 대응) 등 많은 점검과 훈련이 있었으며, 연구참여진이 이에 직접 참여하여 문제점을 해결하기 위한 방안을 연구계획에 반영하였다.

3) 국외 철도운영기관의 전문가 의견 수렴

철도터널 화재를 대비한 특수차량에 대해서는 국내에서 경험이 전혀 없어 현재 운영중인 오스트리아, 스위스 등을 직접 방문하여 운영상의 문제점, 장비개발시 요구사항 등에 대해 자문을 수행하였다. 프랑스 철도운영기관, 영국의 시설관리자에 대해서는 사고복구에 대한 매뉴얼 및 기술이전시 접수한 문서를 토대로 분석하였다.

4) 한국건설기계산업협회 및 국외 건설기계 제작 업체의 전문가 의견 수렴

개발예정인 장비중 탈선 및 충돌사고 복구장비는 전세계적으로 운영되지 않는 장비로 새로운 설계 및 제작이 필요하다. 최근 국내의 건설기계산업의 발전으로 과거에는 국내에서 제작이 불가능했던 많은 장비를 국내에서 제작이 가능하게 되었다. 또한 국외의 장비 현황 및 유사기능이 있는 장비, 국내외 제작 가능수준에 대한 검토와 제작 이후 운영을 위한 장비의 인증 등 다양한 분야에 대해 전문가의 의견을 수렴하였다.

국외 건설기계 제작업체 및 부품 제작업체 현황 조사를 위해 연구참여진이 InterMat 2012에 참여하여 개발장비와 관련된 100여개 업체에 대한 면담을 통해 요소기술의 적용 시 문제점, 기술도입여부 장비에 적용 여부에 대한 기초자료를 수집하였다.

5) 도시철도 운영기관의 전문가 의견 수렴

도시철도 운영에 많은 경험을 갖고 있는 서울메트로, 서울도시철도의 본사 안전업무 담당자 및 차량부서의 사고복구 전문가에 대한 자문을 수행하였다. 이외에 도시철도 운영기관의 경우 국토해양부 주관으로 수행된 위기대응체계 점검에 연구참여진이 참여하여 현황을 조사하였다. 자문과 의견수렴을 통해 접수된 사항을 장비개발시 반영하도록 하였다.

6) 연구참여진 및 전문기관(한국건설교통기술평가원)의 전문가 회의

연구참여진, 연구원내 최고책임자와의 회의 등을 수시로 개최하여 다양한 사고복구 아이디어와 현장적용시의 문제점에 대한 토론을 수행하였다. 또한 전문기관에서 주최한 기획타당성평가위원회, 착수보고회 등을 통해 다양한 의견을 수렴하였다.

어려운 특성이 있는 형태2011년 광명역 부근 터널에서 발생한 KTX 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고는 국민의 철도안전에 대한 신뢰를 추락시키는 사고였다. 국내에서는 이러한 대형참사는 물론, 대형 참사로 연결될 수 있는 열차사고(열차의 충돌, 탈선, 화재사고)와 철도건널목 사고

5장. 인력투입계획 및 소요예산 산정

1절. 연구일정에 따른 인력투입 계획

1. 전체사업 인력투입 계획

본 기획연구에서 제안하는 과제는 1차 년도에는 철도사고의 효율적 복구체계 구축연구 1개만을 시작하며, 2차 년도부터 철도사고복구 장비와 관련된 3개의 과제를 포함 총 4개 과제가 진행되는 것으로 구성하였다. 따라서 전체 사업의 인력투입은 1차 년도에는 사고 복구체계구축 분야의 연구진 10명과 복구장비별 1명의 연구진을 포함한 총 13명의 연구진의 구성이 필수적이다.

2차~4차년도 부터는 사고복구 체계구축 연구는 물론, 사고복구장비 개발 관련 3개의 과제가 시행되어 과제별 연구 참여인력 10~18명을 고려하면 48명의 인력 투입이 필요하다. 이중 3명은 사고복구 체계구축과제와 사고복구 장비간의 인터페이스를 위해 중복 참여하는 인력이며, 이를 중복으로 계산하였다.

과제별 구성인원은 철도운영기관의 사고복구 전문가 및 담당자가 사고복구체계 분야 4인~6인, 사고복구 장비 운영담당자 4인으로 총 8~10인이 필요하다. 철도사고 복구장비는 RAMS에서 요구되는 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성이 모두 요구되는 장비이다.

- 사고복구 과정에서 고장 및 사용이 어려울 경우 개발된 장비가 무용지물이 될 수 있어 높은 신뢰성이 요구된다.
- 활용빈도는 연간 2회 정도로 낮으나 항상 사용이 가능한 상태를 유지하여야 한다
- 현행 장비의 문제점으로 제기된 유지보수의 어려움 및 비용증가를 고려하기 위해서 신규로 개발되는 장비는 국내에서 신속한 유지보수가 가능하여야 한다.
- 현행 장비의 문제점으로 제기된 사고복구 과정에서의 2차 사고나 작업자의 직무사고를 예방하기 위해서는 안정적으로 운영할 수 있는 장비의 개발이 필요하다.

이러한 요구사항을 동시에 만족시키기 위해서는 연구개발에 대한 경험을 소유한 전문가와 실제 장비를 현장에서 운영하는 사고복구 담당자, 사고복구 장비의 개발 담당자가 모두 참여하여야 한다. 철도운영기관의 전문가 및 담당자가 과제에 직접 참여하기 어려운 경우 전문가 자문을 통하여 현행 복구체계 및 장비운영상의 문제점 분석과 신규개발 장비의 현장 적용성 검증 등에 대한 의견 제시가 가능하다. 연구인력으로는 사고복구체계

구축 분야에 있어 제도, 차량, 시설, 신호, 통신 등 다양한 기술 분야별 경험이 요구되며, 박사급 인력 10~15명이 요구된다. 사고복구 장비개발 분야에 있어서는 장비개발 및 운영에 대한 기술을 확보한 관련협회 및 제작업체 전문가 20인 정도의 인력이 요구된다.

2. 세부 과제별 인력 투입

(1) 철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축연구

사고복구 체계구축에는 현재 운영중인 철도안전법 및 하위규정에 대한 이해와 현장에서 매뉴얼 개발에 참여한 전문가, 철도사고 복구에 대한 경험을 갖고 있는 전문가 등 다양한 전문가의 참여가 필요하다. 또한 연구 결과물을 국가제도 혹은 운영기관의 매뉴얼에 반영하기 위해 필요한 지원인력 역시 필요하다. 또한 개발된 장비의 현장 적용전 검증을 위한 전문가, 장비의 상호운영 및 기존 장비에 대한 대체 등 다양한 검토를 수행하기 위한 전문가도 필요하다.

- 철도운영기관의 전문가 3인 : 철도차량의 차종 및 특성을 고려하기 위한 전문가 2인, 사고복구 장비와 인터페이스를 위한 전문가 1인
- 철도연구기관의 전문가 5인 : 철도안전에 대한 전문가, 사고복구 체계구축 관련 전문가, 철도차량, 시설에 대한 전문가
- 철도사고복구 체계구축 연구 전문가 : 3인
- 연구결과물의 제도화를 위한 지원인력 2인 : 연구보고서 작성, 제도화를 위한 기술적 지원, 국내외 사례분석, 체계 및 장비운영방안 마련, 각종 매뉴얼 개정을 위한 인력

(2) 터널 및 교량구간에서 활용이 가능한 열차 탈선사고 복구장비 개발 연구

장비의 설계 및 제작은 물론 철도 터널 및 교량의 구조는 물론 교량 및 터널과 같은 구조물까지의 접근로에 대한 특성, 사고복구에 대한 경험 및 중량물의 이동 등 다양한 경험이 요구된다.

- 철도사고복구체계 및 철도운영기관 현장적용 방안 연구 : 2인
- 연구개발 분야별 전문가 및 요소기술 전문가 : 10인

※ 현장에서 조립이 가능한 기중기 형태의 탈선복구 장비 개발, 지게차 형태의 탈선복구 장비 개발, 차량하부에서 인상하는 구조의 장비 개발을 병행하여 추진

(3) 터널 및 교량구간에서 활용이 가능한 열차 충돌사고 복구장비 개발 연구

장비의 설계 및 제작은 물론 철도 터널 및 교량의 구조는 물론 교량 및 터널과 같은 구조물까지의 접근로에 대한 특성, 사고복구에 대한 경험 및 중량물의 이동 등 다양한 경험들이 요구된다.

- 철도사고복구체계 및 철도운영기관 현장적용 방안 연구 : 2인
- 연구개발 분야별 전문가 및 요소기술 전문가 : 6인

※ 타분야 기술개발 내용의 탈선사고복구 장비 개발 반영, 타산업에서 활용중인 대용량에어백 등의 철도사고 복구에 활용방안 검토 등 수행

(4) 철도터널의 화재진압 및 환경피해 복구용 특수차량 개발 및 운영방안 연구

화재진압 차량설계를 위해서 요구되는 다양한 요소기술에 대한 이해가 있어야 하며, 이들 요소기술의 개발이 아닌 기존에 개발된 요소기술을 조합하여, 개발되는 차량에 장착하는 종합기술이 요구된다.

- 철도사고복구체계 및 철도운영기관 현장적용 연구 : 6인(운영방안 연구 4인 포함)
- 연구개발 분야별 전문가 및 요소기술 전문가 : 12인

※ 타분야 기술개발 내용의 탈선사고복구 장비 개발 반영, 타산업에서 활용중인 대용

2절. 소요예산 산정

1. 전체 사업 소요예산

제도화 관련 1개과제와 사고복구장비 6종이 개발될 예정이며, 제도화 과제는 4년간 15억과 과제간의 인터페이스 및 System Engineering 관련 비용 5억 등 총 20억이 소요된다. 장비개발 과제는 3년간 150억의 예산이 소요될 것으로 계산되었다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 연구 (170억)						
	1년차	2년차	3년차	4년차	사후관리	예산
사고복구 체계 구축	SE, 사양결정				체계구축 및 장비의사후관리	20억 (4년)
	유형별 복구시나리오 개발					
	매뉴얼, 시설 및 차량안전기준 개선					
			현장 적용성 검증 및 적용			
탈선사고 복구장비 개발 연구	국내 최근 10년간 열차사고의 70%	장비개발 SE				60억 (3년)
		이동식/조립식 크레인 개발				
		지게차 형태의 크레인 개발				
		차량하부 작동 인양장치 개발				
충돌사고 복구장비 개발 연구	열차사고의 20%	장비개발 SE				20억 (3년)
		높이가 낮은 평판차량, 가대차 개발				
		복구용 대용량 Airbag 도입				
화재사고 진압장비 개발 연구	열차사고의 10%	장비개발 SE				70억 (3년)
		화재진압 차량/워터 미스트 개발				
		화재진압/대응 장비 운영방안				

사고복구 장비 5종의 개발과 관련된 비용 150억중 10%인 15억은 개발기업인 민간의 매칭펀드로 설정하였다. 사고복구 장비는 국내의 특성으로 개발되는 장비로 국외에서도 활용이 가능하고 장기적으로는 도움이 되나, 시장 규모가 작고, 국내에서도 복구장비를 한꺼번에 구매하기 보다는 내구연한에 도달하여 폐기되는 기존의 복구장비를 대체하거나, 관련된 예산이 확보된 이후에 철도운영 현장에 투입되어 민간업체에서 개발을 기피하는 장비이다. 이를 고려하여 정부예산과 민간의 예산을 설정하였다.

사고복구체계 구축과 관련된 과제에서는 각종 제도화와 현장 의견수렴을 위한 사고복구 체계 구축연구는 분야별 전문가 13인 이상이 참여하는 과제로 연평균 5억원으로 4년간

20억이 소요된다. 여기에는 사고복구장비 개발의 사전연구비 5억원이 포함되어 있으며, 실제 사고복구 체계구축에는 15억원의 예산이 투입된다.

사고복구 장비에 대한 세밀한 검토없이 바로 설계 및 제작을 할 경우 시행착오가 예상되어, 사고복구 체계구축과제에서 장비개발 사양(안)을 결정한 후 차년도에 본격적인 연구를 통해 세부적인 장비개발을 추진하면 시행착오를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 신뢰성을 높이기 위한 방안으로 현재 분야별로 개발되어 있는 요소기술을 활용할 경우 개발 기간을 단축 시킬 수 있으며, 단축된 기간을 각종 검증과 현장 활용성 시험에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 세부과제 별 소요예산

1) 사고복구체계 구축연구

사고복구체계 구축연구의 경우 다양한 부처의 의견수렴, 철도운영기관 현장의 문제점 분석을 통해 최적화된 의사결정 시스템의 개발, 이의 문서화를 위한 각종 매뉴얼의 정비, 사고복구 취약구간의 지정 및 운영방안, 차량안전기준 개정 등 다양한 제도개선안의 마련과 이의 정책반영이 요구되는 사항이다. 또한 체계구축 과제를 1년 먼저 수행하여 개발되는 장비의 사양을 결정하는 중요도가 높은 과제로 각 분야별 전문가의 참여가 필수적이다. 따라서 다음과 같이 다양한 기술분야별 전문인력의 참여가 필요한 과제이다.

- 철도사고 복구 분야별 장비개발 전문가 : 5인(기술분야별)
- 철도운영기관의 사고복구 전문가 : 3인(차종별)
- 사고복구체계 구축 연구 전문가 : 3인
- 정책지원, 제도화 및 지원인력 : 2인

위와 같이 총 13인이 소요되며, 제도개선을 위한 공청회, 복구장비의 사양결정 등 많은 업무를 4년간 추진하기 위해서는 20억의 예산이 소요된다. 20억원중 5억원은 장비개발과 관련된 비용이며, 이는 세계 최초로 개발되는 장비의 신뢰성 확보와 시행착오 최소화를 위한 SE비용이 포함된 금액이다.

2) 탈선사고 복구장비 개발 연구

국내에서 열차사고중 가장 빈번하게 발생하는 사고가 탈선사고로 신뢰성이 높은 장비를 개발하여야 한다. 또한 사고 상황별, 차종별로 활용이 가능하려면 1가지 장비만을 개발하기 보다는 유사한 3종의 장비를 개발하여 활용하는 방안이 효율적이다. 예로서 선로를 통한 접근이 가능한 경우 지게차 형태의 하부인상구조를 갖는 탈선복구 장비가 가장 효율적이며, 선로를 통한 접근에 제약이 있는 경우 현장에서 조립이 가능한 기중기 형태의 사고복구 장비가 효율적이다. 하중이 크지 않은 도시철도, 경량전철, 고속철도 객차에 대해서는 차량하부에서 자체적으로 인상하는 소형장비의 도입이 유리하다. 이를 위해서는 요소기술 분야별 전문가와 이의 통합설계 및 검증, 현장 활용성 확대를 고려한 설계 등의 전문가 12인 요구된다.

위의 장비 3종을 개발하기 위해서는 3년간 60억의 예산이 소요되며, 여기에는 민간 건설 기계장비 개발 업체의 참여시 소요되는 민간예산 10%가 포함된 수치이다.

3) 충돌사고 복구장비 개발 연구

충돌사고 복구용 장비는 기존에 개발된 평판차량의 개량 혹은 높이가 낮은 평판차량개발이 모두 가능하다. 복구장비는 열차 이동속도에 제한이 비교적 적어 대차 혹은 차륜의 크기를 축소하여 개발이 가능하다. 이로 인해 기존의 기술을 활용할 수 있으며, 필요시 임시복구용 가대차를 소형으로 제작하는 방안도 가능하다. 이외에 충돌로 인해 파손된 부위의 신속한 절단을 위한 절단 장비의 도입, 충돌로 전복된 차량의 복구를 위한 대용량 에어백의 도입과 검증 등이 요구된다. 각각의 요소기술이 이미 개발되어 있는 점을 고려하면, 분야별 전문가 6인과 현장 적용시 검증을 위한 전문가 2인의 참여가 필요하다.

위의 장비개발 및 도입을 위해서는 3년간 20억의 예산이 소요되며, 여기에는 민간 장비 개발 및 제작 업체의 참여시 소요되는 민간예산 10%가 포함된 수치이다.

4) 철도터널 화재진압 및 환경피해 복구용 특수차량 개발 연구

철도터널의 화재진압을 위해서는 요소기술의 개발이 추가적으로 필요하다. 요구되는 요소기술은 화재진압시스템(물대포, 워터미스트, 폼 등) 3억원, 화재진압 지원시스템(소화호수, 물탱크, 연기제어용팬 등) 4억원, 무인용 소화물들 개발 7억원, 구난 및이송 철도차량

기발관련 5억원, 특수 구난차량제작 및 검증 48억원, 소방대 운영 및 협력기술 3억원이 소요된다. 관련 인력은 연구개발 인력을 포함하여 18명이 소요된다.

위의 장비개발 및 도입을 위해서는 3년간 70억의 예산이 소요되며, 여기에는 민간 장비 개발 및 제작 업체의 참여시 소요되는 민간예산 10%가 포함된 수치이다.

6장. 과제 제 안요구서

1절. 과제 제 안요구서(RFP)

1. 과제명	철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 연구							
2. 연구개발목표	철도사고 복구 의사결정 지원 시스템 개발 철도사고 종류별 최적화된 시나리오개발 철도사고복구 지원체계 개발							
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	- '10년 철도사고관련 대응 매뉴얼을 제작하여 운영중이나, 사고복구 관련 내용이 부실함 - 사고복구 의사결정이 경험의 의존하고 있으며, 체계화된 문서화 작업이 부족함 - 관련전문가들이 향후 5년간 지속적으로 퇴직예정으로 기술보전/개발이 필요함							
4. 기존기술 활용방안	- 기존의 비상대응 체계구축연구는 사고발생 시점만을 고려하고 있으며, 사고복구는 고려하지 않아 활용이 어려움							
5. 기술개발 필요성	- 다양한 사고시나리오에 대한 검토, 사고복구장비/인력운영에 대한 의사결정 시스템 구축 및 교육에 활용방안 모색 필요 - 사고복구에 영향을 미치는 인자를 효율적으로 관리하기 위한 방안마련 필요							
6. 주요연구 개발내용	- 사고복구를 고려한 안전기준의 개선 연구 - 철도사고 복구장비별 사양 결정 - 각종 매뉴얼(표준매뉴얼, 실무매뉴얼, 현장조치 매뉴얼, 비상대응 계획) 개선 - 사고복구 취약구간 관리기준 및 장비운영 기준 마련 - 종사자의 교육훈련, 장비 공통활용 방안 마련 - 복구장비의 출동시 유관기관 협력 방안 - 제도개선을 위한 기술적 지원 방안 마련연구 - 단기,중기, 장기적인 사고복구 추진전략 마련							
7. 정부지원의 타당성	- 철도사고 복구는 철도운영기관에서 예산 투자를 기피하는 사항이나, 국민의 생활과 국가기반 교통망으로서의 역할을 고려하면 정부지원이 필수적인 사항임 - 대형사고시 신속한 사고복구를 통한 국가 기간망의 유지를 위한 필수연구임							
8. 기술확보 전략	- 최적화된 사고복구 시나리오, 사고복구 장비 활용방안, 의사결정 체계 구축으로 연구 결과물의 현장적용성 확대							
9. 기술개발 최종성과물 /활용방안	최종성과물		철도사고복구 관련 기준 마련, 각종 매뉴얼의 기준마련 의사결정 체계, 교육체계 마련 사고복구 취약구간 관리기준 마련, 장비운영 기준 마련					
	활용방안		철도운영기관의 사고복구 장비 및 매뉴얼, 비상대응 계획 반영					
10. 연구개발 과제 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부	500	500	500	500		
		민간 (추정)						
	합 계		500	500	500	500		
	총 연구비 (백만원)	정부	2,000			총 연구기간	4 년	
		민간						
총합계		2,000			연도별 평균소요인력	13 명		
11. 기대효과 및 파급효과	사고발생시 신속한 복구를 통한 철도운영 중단 최소화 철도교통에 대한 이미지 제고 사고복구 관련 제도/매뉴얼의 정비 사고복구 담당자 교육훈련 프로그램							

1. 과제명	터널 및 교량구간에서의 열차탈선사고 복구장비 개발						
2. 연구개발목표	터널 및 교량구간에서 열차탈선사고시 복구에 활용 가능한 장비개발 철도사고 종류별 최적화된 시나리오개발 및 운영방안 마련						
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	-사고복구 장비의 수요가 많지 않아 세계적으로 1~3개 업체에서 개발하여 판매중 -국내 실정에 맞지 않아 국내에서 운영에 어려움이 있으며, 고장시 유지보수가 어려움						
4. 기존기술 활용방안	-건설기계 개발에 사용된 요소기술의 활용이 가능하나, 철도사고 복구를 위해서는 요소기술을 조합한 새로운 형태의 장비개발이 요구됨 -최근 국내 건설기계산업의 발전에 따라 해당분야의 기술을 활용하면 신뢰성이 높은 장비의 신규개발이 가능함						
5. 기술개발 필요성	- 현행 장비는 작업반경이 넓고 높아서 터널 및 교량구간에서 작업에 어려움 - 이동식 장비를 사용하고 있으나, 사용상 제약이 많고 작업중 부상 위험이 높음 - 현행 장비의 유지관리 비용이 커서 운영기관의 경제적 부담으로 작용하고 있음 - 작업자의 고령화, 국내 철도터널 및 교량의 접근로 특성을 고려한 장비개발 필요						
6. 주요연구 개발내용	- 터널 및 교량에서 사용이 가능한 이동식/조립식 크레인 개발 - 지개차 형태의 탈선복구 장비 개발 - 기동형태의 탈선복구 장비 개발 - 자가 이동이 가능한 Jack Kit 형태의 탈선 복구 장비 개발						
7. 정부지원의 타당성	- 철도사고 복구는 철도운영기관에서 예산 투자를 기피하는 사항이나, 국민의 생활과 국가기반 교통망으로서의 역할을 고려하면 정부지원이 필수적인 사항임 - 정부의 지속적인 위기대응 점검시 지적사항이 도출된 분야로 국가연구개발을 통한 개선방안 마련이 필요함						
8. 기술확보 전략	- 건설기계 개발에 사용된 요소기술을 활용하여 장비의 신뢰성을 향상 시키며, 개발기간 및 비용을 단축						
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		철도 터널 및 교량내 탈선사고 복구장비 3종				
	활용방안		철도운영기관의 사고복구 장비 및 매뉴얼, 비상대응 계획 반영 열차 탈선사고시 복구장비 투입 및 복구시간 단축				
10. 연구개발 과제 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
	연차별 연구비 (백만원)	정부		1,350	2,700	1,350	
		민간 (추정)		150	300	150	
	합 계			1,500	3,000	1,500	
	총 연구비 (백만원)	정부	5,400		총 연구기간	3 년	
		민간	600				
		총합계	6,000		연도별 평균소요인력	12 명	
11. 기대효과 및 파급효과	열차 탈선 및 충돌 사고시 신속한 복구를 위한 장비개발 기존 노후된 복구장비의 교체 및 장비도입/운영비용 절감 국외 수입장비의 대체 및 국내 개발장비의 국외 수출						

1. 과제명	터널 및 교량에서의 열차 충돌사고 복구장비 개발							
2. 연구개발목표	터널 및 교량에서 열차 충돌사고 발생시 사고차량의 이송을 위한 차량/부품 개발 사고로 전복된 차량의 복구를 위한 대용량 Airbag 개발							
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	- 관련 연구는 없으며, 현장에서 파손차량을 분해하여 이송하여 사고복구 시간이 증가 - 도로차량의 전복시 복구를 위한 Airbag은 개발 완료되었음							
4. 기존기술 활용방안	- 높이가 최소화된 평판차량 관련 기술은 2층 객차기술, 화차 제작 기술과 관련되어 있으며, 개발 이후 다용도로 활용이 가능함 - 파손차량의 신속한 이동을 위한 가대차(임시대차)의 개선방안 - 차량한계를 벗어나 변형된 부위의 신속한 절단장비 및 복구용 에어백은 타산업에서 이미 개발된 요소기술을 활용하며, 철도에 맞게 개량하는 방안을 고려하고 있음							
5. 기술개발 필요성	-열차 충돌로 인해 차량의 변형이 발생하여 선로를 통한 이송이 불가능한 경우 열차를 분해하여 일반 평판차량으로 이동하게 되어 사고복구에 상당한 시간이 소요됨 (중국에서는 고속열차 충돌사고시 신속한 복구를 위해 차량을 교량에서 추락시켜 땅속에 매장함)							
6. 주요연구 개발내용	- 높이가 최소화된 평판차량의 개발 - 전복 차량 복구를 위한 대용량 Airbag 개발 - 변형 차량의 이동을 위한 소형대차 개발 - 파손차량의 신속한 분리를 위한 절단장비 운영방안 검토 - 탈선사고 복구장비의 공용활용 방안 마련							
7. 정부지원의 타당성	- 철도사고 복구는 철도운영기관에서 예산 투자를 기피하는 사항이나, 국민의 생활과 국가기반 교통망으로서의 역할을 고려하면 정부지원이 필수적인 사항임 - 정부의 지속적인 위기대응 점검시 지적사항이 도출된 분야로 국가연구개발을 통한 개선방안 마련이 필요함							
8. 기술확보 전략	- 운행속도는 비교적 낮아도, 높이가 최소화된 평판차량의 개발과 기존 연구중인 2층 객차, 화차 관련 기술의 활용 가능 - 탈선복구용 기중기와 동시에 사용하도록 하여 개발 비용을 최소화							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		충돌 차량 이송을 위한 높이가 최소화된 평판차량 개발 전복 차량 복구를 위한 대용량 Airbag 개발					
	활용방안		철도운영기관의 사고복구 장비 및 매뉴얼, 비상대응 계획 반영 열차 충돌사고시 복구장비 투입 및 복구시간 단축					
10. 연구개발 과제 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부		450	900	450		
		민간 (추정)		50	100	50		
	합 계			500	1,000	500		
	총 연구비 (백만원)	정부	1,800			총 연구기간	3 년	
		민간	200					
		총합계	2,000			연도별 평균소요인력	8 명	
11. 기대효과 및 파급효과	열차 충돌사고시 신속한 복구 및 철도건설시 활용 기존 노후장비의 교체 및 장비 운영비 절감							

1. 과제명	철도터널 화재시 진압 및 환경피해 복구용 특수차량 개발							
2. 연구개발목표	철도터널 화재시 진압 및 구난을 위한 특수차량 개발(환경피해 복구 포함) 철도터널 화재진압 차량의 운영기술 개발							
3. 기술개발 및 산업/시장 동향	-국내는 철도시설에 대한 연결송수관 설치, 제연설비 설치, 대피로 설치 등을 추진중 시설물 설치에 막대한 비용이 투자되나, 실제 화재시 효용성에 의문이 제기되고 있음							
4. 기존기술 활용방안	-화재진압 및 구난, 차량 운영과 관련된 요소기술의 활용 가능 -장비의 활용도를 높이기 위해 환경오염물질 처리, 청소 등의 다목적 차량 개발 가능							
5. 기술개발 필요성	- 장대터널이 지속적인 증가추세이나, 터널 화재시 적절한 대응방안이 부족한 실정 - 대형화재시 소방당국의 전문인력이 사고현장에 접근하기 어려워 사후대응만 가능 - 대형화재로 확산시 10개월 이상의 장기간의 열차운행 중단이 발생함							
6. 주요연구 개발내용	- 터널 화재 진압/구난 특수차량의 운영에 대한 기준 확립 - 화재진압 및 구난을 위한 특수차량 개발(화재진압 모듈, 공통모듈로 나누어 개발) - 환경피해 복구 및 터널 청소 등 다용도 모듈로 활용이 가능한 장비 개발							
7. 정부지원의 타당성	- 철도사고 복구는 철도운영기관에서 예산 투자를 기피하는 사항이나, 국민의 생활과 국가 기반 교통망으로서의 역할을 고려하면 정부지원이 필수적인 사항임 - 정부의 지속적인 위기대응 점검시 지적사항이 도출된 분야로 국가연구개발을 통한 개선방안 마련이 필요함							
8. 기술확보 전략	- 최적화된 사고복구 시나리오, 사고복구 장비 활용방안, 의사결정 체계 구축으로 연구 결과물의 현장적용성 확대							
9. 기술개발 최종성과물 및 활용방안	최종성과물		철도터널 화재진압과 관련된 요소기술의 개발 - 화재진압용 물대포, 워티미스트, 폼 등 - 화재진압 지원용 소화호수, 물탱크, 연기제어펜 등 - 무인용 소화모듈 - 환경오염 복구용 모듈 철도터널 화재시 구난 및 이송차량(차량 제작 및 검증 포함) 철도터널 화재시 구난 차량 운영기술(소방대 협력 방안 포함)					
	활용방안		철도운영기관의 사고복구 장비 및 매뉴얼, 비상대응 계획 반영 열차 화재사고시 진압장비 투입 및 복구시간 단축					
10. 연구개발 과제의 규모	구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도	
	연차별 연구비 (백만원)	정부		1,800	2,700	1,800		
		민간 (추정)		200	300	200		
	합 계			2,000	3,000	2,000		
	총 연구비 (백만원)	정부	6,300			총 연구기간	3 년	
		민간	700					
		총합계	7,000			연도별 평균소요인력	18 명	
11. 기대효과 및 파급효과	철도터널 화재시 신속한 대응을 통한 시설물 및 인적피해 최소화 중복 투자된 터널내 화재안전설비의 효용성 제고(중복된 안전설비 제거로 유지보수비 절감) 불필요한 연결송수관에 대한 설치비용 절감 일반선로는 물론 철도터널 및 교량에서 발생한 환경오염사고의 복구로 환경피해 최소화							

요약보고서(안)

제1장 국내외 기술개발 현황 및 문제점

1.1 관련 산업의 현황 및 문제점

100년이 넘는 철도운영 경험에 있어 고속철도 개통전까지는 사고복구와 관련된 환경이 급격히 변화하지 않았다. 그러나 관절형 고속철도차량의 도입, 틸팅열차의 도입, 경량전철의 도입 등 다양한 차종의 운행과 운행속도 향상을 위한 터널 및 교량구간의 증가, 전차선로의 가설은 사고복구 환경을 매우 어렵게 변화시켰다. 이에 따라 차별화된 복구전략과 전용장비의 도입이 필수적이나, 이에 대한 신속한 대처가 부족하였다. 이로 인해 '11년 발생한 광역역 부근 터널내 고속열차 탈선사고의 복구에는 30시간 이상이 소요되어 철도운행에 큰 지장을 초래하였다. 현시점에도 열차운행속도 향상을 위해 기존의 노선을 선형으로 개량하는 작업이 지속적으로 추진되고 있으며, 산악지형과 하천이 많은 국내 특성상 철도교량과 터널구간이 지속적으로 증가하고 있다. 경부고속철도의 경우 2단계 개통구간이후 전체 노선중 터널구간이 41%, 교량구간이 31%로 일반선로 구간의 비중인 28% 보다 높은 실정이다. 도시철도의 경우 대부분 터널(53%) 및 교량구간(7%)이다. 과거에는 일반선로 비중이 높아 철도운행중 발생한 열차의 탈선, 충돌, 화재사고에 대한 피해는 크지 않았다. 과거에는 대부분의 열차사고가 일반선로에서 발생하였고, 전차선이 가설되지 않아 신속한 사고복구가 가능하였다. 터널에서 발생한 고속열차 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고의 경우 일반선로가 아닌 터널에서 발생한 사고로 사고의 피해가 막대하였다. 지속적으로 증가하는 터널 및 교량구간에서 열차의 운행중 탈선, 충돌, 화재사고가 발생한 경우 각종 구조물로 인해 사고복구용 기중기의 사용에 제약이 있고, 전차선의 제거 및 설치에 추가적인 시간이 소요되어 신속한 복구가 어려워 복구에 상당한 시간이 소요되게 된다. 2000년 이후 발생한 사고 및 장애를 분석한 결과 터널구간에서 발생한 사고는 일반선로에서 발생한 사고나 장애에 비해 평균적으로 2시간 이상의 복구 시간이 추가적으로 요구되었다. 대부분의 선진국에서도 철도운행중 발생한 열차의 충돌, 탈선사고와 같은 대형사고의 복구에는 1주일 이상 소요되고 있는 실정이다. 선진국의 경우 주요 선로에 대해 우회선로가 확보되어 있어, 1주일 이상 특정 선로에서 운행중단이 발생하여도 사회적으로 큰 문제가 되지 않고 있으며, 실제 운행중 선로에 이상이 발견되면 운행중 중단하고 선로를 유지 보수 하고 있다. 그러나 국내의 경우 운행밀도가 높고 우회선로가 부족하여 사고복구에 충분한 시간을 확보할 수 없는 실정이다.

철도 터널구간, 지하역사에서 발생한 화재사고의 경우 대구지하철화재사고와 같이 10개월 이상의 장시간의 운행중단을 유발할 수 있으며, 대형 인명피해를 유발할 수 있어, 현재 40종 이

상의 다양한 화재안전대책이 시행중이다. 이중 도시철도차량의 내장재 교체, 화재감지기 설치, 소화기 확대설치 등은 완료되었으나, 연결송수관 설치, 제연 및 배연설비 설치, 여객 대피로 설치 등은 현재까지도 진행중이다. 철도터널에서 화재시 일반적인 소방장비의 진입 및 활용에 어려움이 있어 화재진압 및 시설물 보호에 어려움이 많이 있다. 반면, 화재안전책을 위해 추진중인 많은 대책의 기대효과가 중복되며, 신속한 적용이 어려운 문제점이 있다. 예로서 연결송수관의 경우 1km 당 3억원 정도의 예산이 소요되는 반면, 화재시 연결송수관의 작동을 위해서는 40분 이상 소요되어 신속한 화재진압에 어려움이 예상된다. 또한 국내의 철도터널의 길이를 고려하면 막대한 예산이 소요된다.

국내에서 철도는 국가의 기반이 되는 교통시설로 위와 같이 장시간의 열차운행중단이 발생한 경우 철도에 대한 이미지 실추, 교통혼잡유발, 철도에 대한 신뢰성 추락은 물론 국가 기반 교통망으로서의 역할을 할 수 없게 되어 국민의 생활에 큰 불편을 초래한다. 현재 철도운영기관에 보유중인 장비와 인력을 유지할 경우, 터널 및 교량에서 발생한 대형철도사고의 복구에는 일주일 이상이 소요된다. 이와 같이 장시간 열차 운행이 중단되는 상황이 발생하면, 사회적으로 큰 파장을 일으킬 수 있다. 국내에서 최근 10년간 발생한 열차사고 48건 전체를 분석한 결과 사고복구 시간이 소요된 주요 원인은 다음과 같이 정리될 수 있다.

- 1) 철도차량의 다양화에 따른 사고복구 전문성의 부족(관절대차, 틸팅대차, 경전철 등)
- 2) 체계적인 사고복구 의사결정 시스템의 부재
- 3) 기존 사고복구 장비 사용의 제약(터널, 교량, 천장이 있는 복합 민자역사 등)
- 4) 사고복구 및 진압장비의 신속한 접근의 어려움(화재 진압 장비 및 시설 부족)
- 5) 사고 복구 시간 확보를 위한 우회선로 부족 및 높은 열차운행 밀도

이중 사고복구에 가장 취약한 요인으로 지적되는 사항이 터널 및 교량에서 발생한 사고로 현재 국내에서 사용중인 복구장비를 이용할 경우 많은 시간과 인력이 필요하며, 사고 복구 과정에서 작업자의 부상 및 2차 사고 위험성이 높은 실정이다. 본 기획연구를 통해 전문가의 의견수렴, 국내외 현황조사, 국내외 철도사고 분석 등을 통하여 다음의 9가지 문제점을 도출하였다.

(1) 인적 피해저감에 초점을 둔 연구로 사고복구관련 연구 부재

현재까지의 철도안전기술연구에서는 열차의 충돌, 탈선, 화재와 같은 대형철도사고예방 및 사고발생시 피해최소화를 위한 연구를 수행하였다. 사고복구와 직접 관련된 연구는 “철도비상대응체계 구축연구”가 유일하며, 간접적으로 연관성이 있는 연구는 “철도사고 위험도평가 및 체

계구축연구”가 있다. 이들 연구는 모두 인명피해 저감과 사고예방에 초점을 둔 연구로 사고복구 체계, 사고복구장비, 장비의 운영 등의 내용은 포함하고 있지 않다. 이들 연구가 국가차원의 연구로 철도사고 복구에 대해서는 과거와 같이 철도운영기관의 역할로 간주하여 관련 연구가 부족하였다.

(2) 사고복구 전문가의 지속적인 감소

국내에서 대형 인명피해가 발생하는 대형참사는 국내에서 10년 주기로 발생하고 있으며, 철도운영기관별로 혹은 사고대응 당사자별로는 30~40년에 한번 경험하는 사고이다. 과거에는 열차사고가 연간 10건 이상 발생하였으나, 철도안전성이 지속적으로 향상되는 추세로 최근에는 연간 열차사고는 2~4건 정도로 발생하고 있다. 반면 사고복구에 대해 전문성과 경험을 갖춘 전문인력이 지속적으로 퇴직을 하는 추세로 전문성의 유지방안 마련이 필요하다.

(3) 차종의 다양화에 따른 사고복구 전략 수립필요

철도차량의 다양화에 따른 차종별로 사고복구 시나리오를 구성하여 최적화된 사고복구 전략 수립과 이를 체계적으로 문서에 반영하기 위한 방안 마련이 필요하다. 현재 철도현장에서 운영중인 다양한 매뉴얼, 국가의 안전기준에 철도사고복구 관련 내용이 1줄 정도의 선언적인 내용만 수록되어 매우 빈약한 실정이다. 따라서 이를 활용한 종사자의 교육 및 국가의 위기대응 체계 마련에 어려움이 많아 철도사고 복구 훈련 및 실제 복구 과정의 세부 내용의 체계적인 정리 방안이 필요하다.

(4) 사고복구 장비 사양의 현실화

과거 최악의 시나리오를 가정하여 구축된 사고복구 장비는 높은 사양으로 인해 부피가 커서 터널 및 교량구간에서 사용에 제약이 많아 이용율이 크게 낮아졌다. 향후 지속적으로 터널 및 교량구간 증가에 따른 소형화된 장비 혹은 새로운 형태의 장비 개발이 필요하다. 철도차량별 하중은 20톤에서 130톤까지 큰 차이가 있으나 최악의 상황을 고려하여 130톤 이상의 장비를 구축하였다. 이로 인해 부피가 커져 터널에서 사용이 제한되는 단점이 있다. 현재까지 사고복구 장비 전량을 국외에서 수입하고 있으나, 국내의 건설기계 분야에서 다양한 요소기술 개발이 완료되어 모듈화된 형태로 활용중에 있다. 이를 활용한 사고복구 장비 개발이 용이해졌다. 또한 국내 철도 터널 및 교량의 현황을 고려한 복구장비의 사고 장소까지의 진입로 확보, 접근 방안등의 고려시 기존의 대형화된 장비의 경우 제약이 많은 실정이다.

(5) 사고복구 과정의 직무사고 및 2차 사고 예방 필요

작업자의 고령화에 따라 기계화된 장비의 도입을 통해 종사자의 사고복구 작업중 직무사고

위험성을 낮출 필요성이 제기되고 있다. 영국, 프랑스 등의 선진국에서는 기계화된 장비를 이용하여 사고복구 과정에서의 직무사고 위험성을 낮추고 있으나, 국내는 작업자의 경험과 집중력에 의존하고 있는 실정이다. 이로 인해 국내의 다양한 철도안전지표중 종사자의 안전성 관련 지표가 선진국에 비해 크게 뒤떨어지는 것으로 나타났다. 도입된 장비가 국외에서 제작되어 유럽인의 체형에 맞게 설계되어 국내의 작업자가 들고 이동하거나 작업하기에 부적합한 부분이 많이 제기되었다.

(6) 터널화재 진압 장비 부재

현재 철도터널에서 화재사고가 발생한 경우 화재진압을 위한 장비는 연결송수관이 유일하다. 그러나 연결송수관의 유지관리 상의 문제로 인해 평상시에는 연결송수관에 물이 채워져 있지 않는 건식 연결송수관을 운영중이다. 화재사고시 연결송수관을 작동시키기 위해서 송수관에 물을 채우기 위해서는 40분 정도가 소요된다. 그러나 충수시간 동안 화재가 급격히 확산할 우려가 크며, 화재가 확산된 경우 화재를 진압할 장비가 전무한 실정으로, 화재로 인한 터널 라이닝손상 등 구조물의 변형을 초래하여 수개월의 열차운행 중단을 유발할 수 있다. 또한 연결 송수관의 설치 및 운영비용이 고가여서 이를 대체할 수 있는 대안 마련이 요구된다. 또한 유독물질 유출시 중화를 위한 복구장비도 없는 상태이다.

(7) 사고복구 장비의 유지보수 비용 및 인력운영 비용 증가에 대한 부담

사고복구장비는 24시간 비상대기 상태를 유지해야하는 비상구호물자로 복구장비의 운영인력이 함께 대기하여야 한다. 비상복구 인력의 경우 상시 훈련을 통해 장비 사용에 익숙한 차량사업소 직원이 출동한다. 그러나 철도사고 복구용 기중기의 경우 장비운전면허 소지자가 필요하며, 구원용 기관차에 복구장비를 탑재하고 이동할 경우 디젤면허소지자가 필요하다(국내에는 고속철도, 전기1종, 전기2종, 디젤, 장비의 5개 면허가 시행중). 이와 같이 장비의 유지보수 및 관련 인력의 비상대기로 인해 많은 비용 및 인력운영상의 어려움이 발생할 수 있어 이들 부담을 최소화 할 수 있는 사고복구 장비의 개발이 필요하다.

(8) 터널내 화재안전대책의 실효성 부족

현재 구축중인 다양한 터널내 화재안전설비의 문제점 해결을 위한 화재진압차량개발 필요. 현재 추진중인 철도 터널화재 안전대책의 많은 내용이 기대효과가 중복되고 있으며, 신속한 대응에 문제점이 발견되었음. 이를 해결하기 위한 화재진압차량의 도입 필요하다. 현재 철도터널에 안전설비는 사고예방, 사고피해감소, 대피촉진, 구조구난, 화재진압 등의 목적으로 설치되고 있으며 각 목적별 주요 설비는 비상통신장비, 비상 표지판, 소화기, 방연문, 대피통로, 연직/경사갱, 방재구난지역 등 다양하며, 터널내 설치되는 화재진압 설비는 연결송수관이 유

일하다. 연결송수관은 화재발생시 소방대가 터널로 진입하여 소방호스를 연결하여 사용될 수 있는데 터널 화재가 발생시 터널화재진압을 위한 특수한 차량 등의 장비 없이 화재터널로 진입하기 어려우며, 설치비용 역시 km당 3억원 정도의 막대한 예산이 필요하다.

터널 구간에 비상 정차한 화재열차의 소화/구난 및 구난역 또는 터널 외부로의 견인 대책이 필요하며, 터널라이닝 폭열, 연기확산 및 건식의 연결송수관의 충수시간 등으로 소방관 진입에 의한 기존 연결송수관 설비의 활용 어려움이 있다. 최근 건설중인 호남고속철도터널의 경우 연결송수관이 제외되어 있는 실정으로, 운행중 화재사고가 발생한 경우 화재진압에 어려움이 예상되어 이에 대한 검토가 요구된다.

(9) 국내의 사고복구 체계 및 장비에 대한 개선 요구

2011년부터 국가의 위기대응체계에 대한 전반적인 점검과 개선이 추진중에 있으며, 국토해양부, 철도전문가, 유관부처 합동으로 다양한 점검이 진행되었다. 점검에서는 많은 문제점이 지적되었으며, 사고시 유관기관의 협력체계에 대한 지적이 많이 있었다. 즉, 철도역사, 교량, 터널 등에서 사고발생시 인근의 경찰, 소방대, 의료기관의 지원체계에 대한 전반적인 점검이 다양하게 이루어지는 반면, 사고복구에 대한 체계적인 연구나 검토가 부족하고, 관련된 기준이 없어 일관된 점검이 이루어지기 힘든 문제점이 있다. 이로 인해 점검기관별 혹은 점검자별로 서로 상충된 지적사항이 발생할 수 있어, 현장에서는 많은 어려움으로 작용한다.

1.2 국내외 기술개발 및 투자현황

사고복구와 관련된 사항은 현재 철도안전법 및 하위규정에는 선언적인 내용만 기술되어 있으며, 하부의 기술기준인 철도차량 안전기준에는 사고복구를 위한 부품의 설치 등이 포함되어 있다. 그러나, 철도시설안전기준에는 관련내용에 대한 언급이 없는 실정이다. 또한 사고복구와 관련된 사항은 매뉴얼에도 선언적으로만 언급되어 있으며, 세부내용이 기술되지 않아 사고복구와 관련된 체계적인 제도 마련이 필요하다. 철도시설안전기준에는 화재에 대비한 각종 시설의 기준이 제시되어 있다.

현재 국내에서 운영중인 탈선복구용 기중기 및 체크키트는 전량 수입에 의존하고 있으며, 고장시 수리가 어렵다. 또한 활용 빈도는 낮으나 비상장비로 복구 장비운동을 위해 많은 비상대기인력과 장소, 장비가 요구되어 철도운영기관의 어려움을 가중시키고 있다.

본 연구에서는 전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의

복구장비 개발방안을 제시하였다. 과거에는 국내의 건설기계산업의 요소기술이 발달하지 않았으며, 국외에서 사고복구 장비가 개발되어 도입이 가능하였으나, 최근에는 국내 건설기계산업의 발달과 국내 철도운행환경 변화(터널 및 교량구간 증가, 관절대차 및 틸팅대차 등 차종의 다양화)로 인해 국외장비의 국내 도입에 어려움이 있어 새로운 형태의 복구장비에 대한 요구가 증가하였다. 본 기획연구에서 수행한 시장조사 결과 탈선복구장비의 개발에 필요한 요소기술은 이미 모듈화 되어 다양한 건설기계산업에서 활용중에 있어, 이를 조합하고, 개량하여 철도사고 복구장비에 도입할 수 있을 것으로 판단되었다. 화재진압 및 위험물 누출사고의 복구장비는 국내에서는 개발이 되지 않았으나, 현재 운영중인 국가를 방문하여 세부적인 운영 및 관련 요소기술에 대한 분석을 수행하였다.

철도사고 복구장비는 사용빈도가 매우 낮으나, 사용시 매우 높은 신뢰성이 요구되어 국제적으로 1~3개 업체가 개발하고, 전세계적으로 이를 수입하여 운영중이다. 과거에는 해외 업체의 장비를 도입하여 운영하는데 어려움이 없었으나, 국내 철도 노선중 터널과 교량구간이 증가하여 신규개발 장비가 필요하다. 그러나 국제적으로는 국내와 같은 사례가 많지 않아 해당 장비가 개발되지 않고 있다. 따라서, 이들 장비는 터널과 교량이 많은 국내 실정에 맞지 않고, 이 동식 장비의 경우 중량이 무거워 국내의 작업자가 사용중 많은 직무사고가 발생하였다. 또한 철도사고 복구장비는 수요가 많지 않아 국내에서 개발이 되지 않았다. 전량 국외에서 개발된 장비를 수입하여 사용중에 있다. 철도사고에 가장 많이 사용되는 기중기(한국철도공사에 14량 운영, 나머지 기관은 미보유)의 경우 독일과 미국내 2개 회사로 부터 전량수입하고 있으며, Jack Kit(차량사업소별로 1set 운영중, 한국철도공사 28set, 도시철도운영기관별 별도 운영)의 경우 독일 LUCAS 사 등의 장비를 구매하여 사용중이다. 도시철도 차량의 구원 및 복구에 사용되는 다용도 차량의 경우 국내에서는 전량을 독일 벤츠사에서 수입하여 사용중이다.(한국철도공사 유니목 11량, 도시철도운영기관별 별도 운영). 경량전철의 경우 부산교통공사 4호선에서는 기존의 모타카를 개량하여 해당 선로의 운행이 가능하도록 개량하여 사용중이다. 관련 특허는 모두 해외 제작사에서 보유하고 있는 실정이며, 유압관련 부품, 유압제어 부품, 관련 재질, 구동장치 등 각각의 세부적인 요소기술에 대한 다양한 특허가 출원되어 있다. 철도사고복구 장비는 건설기계 장비와 유사하며, 건설기계 장비의 경우 모든 부분을 자체적으로 개발하기 보다는 모듈화된 부품을 선택하여 개발 기간 단축과 신뢰성을 높이는 방안으로 추진되고 있다.

화재진압 특수차량은 오스트리아, 스위스, 러시아에서 운행중이며, 철도터널 화재소화/구난 특수차량이 운용중이며, 지역소방대와 긴밀한 관계를 유지하며 운영되고 있다. 차량의 경우 운영특성에 맞추어 개별 국가에서 개발하고 있으나, 유지관리의 문제 등으로 국외 수출은 하지 않고 있는 실정이다. 다만, 해당 요소기술에 대해서는 관련 장비개발 업체를 통해 구매가 가능하다.

1.3 관련 기술 개발 필요성

열차운행속도 향상을 위해 국내에서는 지속적으로 터널 및 교량구간이 증가하는 추세로, 터널 및 교량구간에서 발생한 열차사고의 복구는 일반선로에서 발생한 사고에 비해 보다 많은 복구시간이 소요된다. 철도 터널내에는 전차선 이외에 많은 천정내 구조물과 천정 높이로 인해 사고복구용 기중기의 붐대를 이용한 인상작업에 필수적인 공간의 확보가 용이하지 않다. 터널의 단면이 비교적 넓은 경부고속철도 터널의 경우 전차선을 철거한 경우에도 터널의 높이를 고려하면 기중기의 운영각도가 14° 이내로 안정적인 작업을 위한 공간이 확보되지 않는다. 또한 분기기가 설치되지 않아 터널 단면이 낮은 경우는 기중기 작업은 불가능하다.

철도운영과 관련된 다양한 규정 및 매뉴얼에는 차량고장이나 비상시 터널이나 교량을 피하여 일반선로나 역사에 정차하도록 하고 있으나, 실제로 많은 사고가 터널이나 교량에서 발생하고 있다. 국내의 경우 터널이나 교량의 비중이 높아 위험성이 더욱 높다. 예로서 '11년 광명역 부근 일직터널에서 발생한 KTX 열차 탈선사고의 경우 사고복구에 30시간 이상이 소요되었으며, 중국에서 발생한 교량내 고속열차 충돌사고는 복구장비가 없어 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하는 방법을 적용하여 많은 비난여론이 있었다. 대구지하철 화재사고나 일본에서 '11년 홋카이도 터널에서 발생한 열차화재사고의 경우 열차화재로 인한 차량전소는 물론 구조물 손상으로 장시간의 열차운행중단이 유발되었다.

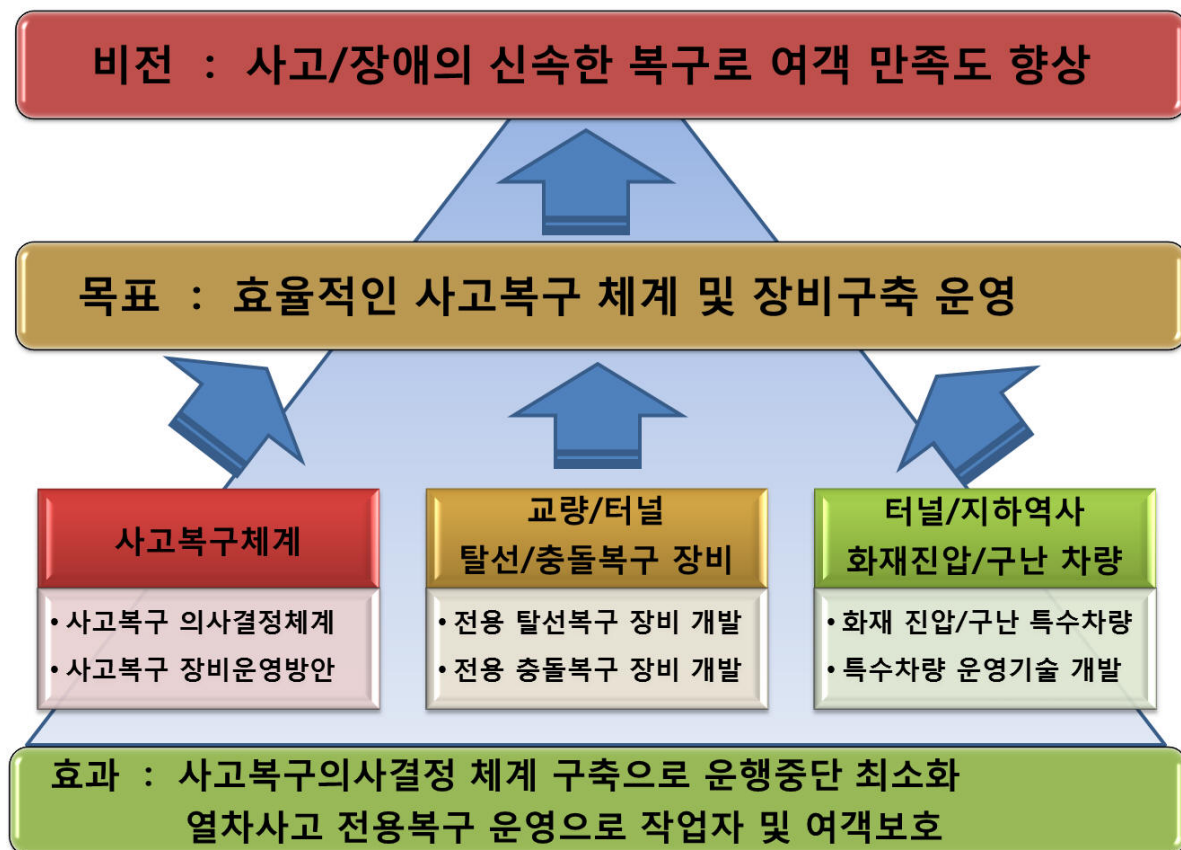
국내의 경우 우회선로가 부족하고 열차운행 밀도가 높아 사고발생시 사고복구 시간이 부족하며, 사고복구 지연시 철도운영자는 물론 여객의 피해가 급격히 확대되는 구조적 문제가 있다. 최근에는 열차의 운행속도 향상을 위해 터널 및 교량 구간이 지속적으로 증가하는 추세이다. 열차의 충돌·탈선·화재사고가 일반선로에서 발생한 경우 신속한 복구가 가능하나, 터널 및 교량구간에서 발생한 경우 사고복구용 기중기의 사용제한 및 복구장비의 사고장소 접근상의 어려움으로 사고복구 시간이 2시간 이상 증가하는 문제가 있다. 현재까지는 열차의 운행중 탈선 및 충돌사고가 발생한 경우 복구용 기중기를 이용하여 복구가 가능하였다. 그러나 터널, 교량, 복합역사의 경우 복구용 기중기 사용을 위한 공간의 제약으로 휴대용 복구장비인 제크키트를 이용하였다. 휴대용 제크키트의 경우 복구 작업자가 사고 현장까지 들고 이동하는 과정에서 어려움과 복구 과정에서 2차 사고 위험성이 높은 문제점이 있다. 신속한 연구수행을 통해 향후 철도터널 및 교량에서 발생한 열차사고에 대한 대응방안 마련이 필요하다. 또한 향후 교체 예정인 노후된 복구장비의 교체시기가 도래하기전 개발 및 투입 전략 수립과 동시에 추진이 필요하다.

제2장 연구목표, 내용 및 추진전략

2.1 연구개발의 목적

본 기획연구의 목적은 열차의 충돌, 탈선, 화재 및 위험물 누출사고와 같은 열차사고 발생시 효율적 복구를 위한 체계구축과 관련 장비개발 개발 방안에 대한 기획연구이다.

2.2 비전 및 목표



(1) 정성적 목표

2000년대 초반까지는 빈번한 열차사고, 건널목사고와 사상사고로 인해 빈번한 운행중단이 있었으나, 지속적으로 감소하여 사고로 인한 운행중단 보다는 열차지연 위주로 발생하고 있다. 사고시 신속한 복구를 통해 운행중단 시간을 최소화한다면 여객의 철도안전성 및 정시성에 대한 신뢰향상으로 연결되어 철도여객의 증가로 나타난다. 따라서 본 연구의 비전을 “철도 사

고/장애의 신속한 복구를 통한 여객 만족도 향상”으로 설정하였다.

이를 위해 설정된 목표는 사고복구체계 구축과 전용 복구장비 개발 및 운영으로 설정하였다.

세부목표는 ① 사고복구체계 구축, ②탈선 및 충돌복구 전용장비 개발, ③ 터널 및 지하역사의 화재진압 및 구난을 위한 특수차량의 개발과 이의 운영기술 개발로 설정하였다.

이를 통해 최종적으로는 ① 열차운행중단 최소화, ② 안정적인 사고복구 작업 진행, ③ 전용장비 사용을 통한 작업자, 차량, 시설물의 보호 효과가 예상된다.

(2) 정량적 목표

철도운행중 터널 및 교량구간에서 발생하는 대형철도사고의 경우 발생 사례가 많지 않으나, 운행중 차량 고장으로 인한 정차, ‘11년 광명역 부근의 열차 탈선사고 등 인명피해가 없는 소규모 사고나 장애는 다수 발생하고 있는 추세이다. 국내에서 최근 발생한 15건의 터널 및 교량구간의 사고 및 장애자료를 분석한 결과 본 기획연구를 통해 제안된 사고복구 체계 및 장비가 현장에서 운영될 경우 사고복구 시간을 50% 이상 감소시킬 수 있을 것으로 예상되었다. 위험물 누출사고의 경우 최근 국내에서 발생하지 않고 있어 사고복구시간에 대한 정량적인 목표 설정에 어려움이 있으나, 화재진압 특수차량의 소화탱크에 중화제를 탑재한 경우 보다 신속한 복구가 가능하다. 터널구간 화재사고의 경우 3개월에서 10개월의 장시간이 소요되며, 시간단위의 목표 설정이 어려워 정량적 목표 설정에서는 제외하였다.

사고복구 장비의 구매 및 유지비용, 관련 인력운영 등에 대한 종합적인 검토를 하여 다음과 같은 3가지의 정량적인 목표를 설정하였다.

가. 터널·교량 구간에서 발생한 열차사고의 복구시간 50% 단축

철도터널·교량구간에서 열차의 충돌·탈선·화재 사고가 발생한 경우 ① 여객을 안전한 지역까지 대피, ② 사고복구 전략 및 관련 장비 동원, ③ 사고복구 장비의 사고지점 접근, ④ 복구장비 운영을 위한 전차선 등 주변 구조물 철거, ⑤ 사고 차량 임시복구 혹은 제거, ⑥ 철거된 구조물의 재설치, ⑦ 운행안전 확인, ⑧ 열차운행 재개, ⑨ 사후 정리 등 다양한 절차가 요구되며, 사고의 규모, 피해정도 등에 따라 사고복구 시간이 변경된다.

본 기획연구에서 제안된 복구체계 및 장비가 도입된 경우 다음의 기대효과에 따라 전체 사고복구 시간의 50% 절감이 예상된다.

- ① 사고복구 의사결정 지원을 통한 사고복구 전략 및 관련장비 동원 시간 감소
- ② 사고복구 장비의 사고지점 접근시간 감소, 자동화된 장비 도입을 통한 터널, 교량내 진

입시간 단축(기존 인력을 이용한 장비 이동으로 시간 소요)

③ 소형 복구장비운영에 따른 주변의 구조물 제거 시간 감소(전차선 해체 불필요)

④ 해체된 구조물의 재설치 시간 감소(전차선 및 전주 복구 시간 불필요)

나. 사고복구장비의 도입 및 운영 비용 50% 단축

현재 사고복구용 크레인의 경우 전량 국외에서 수입중이며, 대당 22억원이 소요된다. 장비의 고장시 국외에서 수리가 필요하여 장시간 운영이 어려운 문제도 있는 실정이다. 대형장비로 보관 및 유지보수 비용, 인력운영상의 부담이 증가하고 있다. 반면, 사고복구장비의 타용도 전환이 용이하지 않아 활용율이 낮은 실정이다.

본 기획연구에서 제안된 장비를 개발하여 운영할 경우 국내제작이 가능하며, 신속한 수리가 가능하다. 또한 모타카 크기보다 작아 보관, 운영 및 인력운영상 다양한 비용 감축이 예상된다. 복구 장비별 예상되는 편익은 “4장 사전 타당성 검토” 부분에 수록하였다.

다. 사고복구과정의 직원의 부상 위험도 50% 감소

현재 사고복구시 복구차량 및 열차를 사고지점에 가장 가까운 지점까지 접근한 후에 인력을 이용하여 체크키트, 복구용 지그 등 각종 중량물을 이동중에 있으며, 이 과정에서 직원의 부상 위험이 높다. 또한 열차가 전복되거나 탈선된 철도차량을 선로로 이동하는 과정에서의 기중기가 전도되거나, 체크키트가 흔들리는 경우 2차 사고 위험에 노출되어 있다. 작업자와 차량의 안전을 위해 각종 감시센서가 설치된 기계화된 복구장비를 이용할 경우 직원의 이동중 사상사고, 복구과정에서의 사상사고를 예방할 수 있다.

2.3 연구내용

(1) 철도사고복구 체계 구축을 통한 신속한 복구방법 결정 기획연구

국내는 철도운영 역사는 오래되었으나, 사고형태에 따른 복구방법의 결정을 위한 의사결정체계, 철도사고복구와 관련된 장비의 운영, 인력, 조직, 교육 등이 체계적으로 이루어지지 못하고 있다. 과거에는 철도사고가 빈발하여 사고복구 인력이 충분한 실전 경험을 갖추고 있으나, 최근에는 열차사고가 크게 감소하여 사고복구장비의 출동횟수가 크게 감소하여, 사고복구 인력의 실제 사고복구 경험이 부족한 실정이다. 현장에서 많은 사고복구 경험을 갖고 있는 전문 인력이 향후 지속적으로 퇴직예정이어서 이들 전문인력들의 경험과 노하우를 체계적으로 문서화 하여 사고복구 매뉴얼, 사고복구 백서 등의 문서 형태로 발간하여 사고복구 전문인력의

교육 및 사고복구 의사결정 지원 시스템에 반영할 필요가 있다.

과거에는 철도차량의 차종이 비교적 단순하여 차종별 사고복구 방법이 유사하였다. 그러나 최근 관절형 대차가 도입된 KTX, 틸팅대차가 도입된 틸팅열차, 조향대차가 장착된 열차, 높이가 높은 2층 객차, 경량전철, 준고속 열차인 ITX-청춘(연결기 높이가 상이함) 등 다양한 차종이 개발되고 있다. 기존에는 디젤기관차, 전기동차, 화물열차 등에 대해서는 많은 사고복구 경험을 갖추고 있으나, 새로운 기술이 적용된 차량의 경우 사고복구시 전문성이 요구된다. 이와 같이 새로이 개발된 열차가 운행중 사고가 발생한 경우 사고복구 전략수립이 용이하지 않다. 예로서 2011년 광명역에서 발생한 KTX-산천의 사고복구의 방법을 결정하는데 5시간 이상이 소요되었다. 사고복구 경험이 확보된 현재는 유사한 사고가 발생할 경우 사고복구 방법의 결정에 소요되는 시간을 크게 단축 시킬 수 있을 것으로 예상된다.

사고복구장비의 운영체계에 있어, 사고상황에 따라 차종별, 운행 상황별 활용 가능한 장비를 선정한 후 장비별 출동시간, 복구시간, 복구시 안정성 등을 종합적으로 고려할 수 있는 의사결정 지원체계가 구축되면, 사고복구 장비의 구축 및 운영에 대한 효율성이 크게 향상될 것으로 예상된다. 도시철도 운영기관의 경우 전동차량의 중량이 가벼워 소규모 장비로도 신속한 복구가 가능하며, 운영중이 차종이 다양한 철도공사의 경우 디젤기관차, 화물열차, 고속열차, 전동차량 등 차종별 활용이 가능한 장비를 운영할 수 있다.

철도터널에서 화재가 발생한 경우 현재는 복구인력이 터널내 연결송수관을 작동시켜야 하면, 연결송수관에 물이 공급되어 분무시까지 40분 정도가 소요된다. 이러한 시간차이로 인해 화재가 급격히 확산되어 화재 진압이 불가능한 상황이 예상된다. 이 경우 일반적인 소방대의 장비로는 화재차량까지의 접근이 불가능하여 화염으로 인한 구조물변형, 붕괴가 발생하여 4개월 이상의 장시간의 열차운행중단이 예상된다. 터널이 많은 유럽의 국가들과 같이 화재진압 특수차량을 개발 도입할 경우 이러한 문제를 해결 할 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 화재진압 차량의 개발, 배치, 운영에 대한 체계를 연구하여 실전에 배치하면 현재 막대한 비용이 투자되는 연결송수관 설치 및 각종 화재안전설비의 설치비용을 크게 절약하면서 실효성 있는 화재안전성을 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

(2) 철도터널에서 발생한 열차 탈선사고 장비개발 기획연구

일반선로에서 발생한 열차 탈선사고는 철도사고 복구용 기중기를 이용하여 탈선차량을 선로로 이동하거나, 철도 운행에 지장을 주지 않는 공간으로 이동시킬 수 있다. 기중기를 이용하

기 때문에 안정적인 작업이 가능하며, 탈선차량이 선로에서 멀리 떨어진 경우도 복구가 가능하다. 그러나, 터널 혹은 민자역사와 같은 공간에서 발생한 열차탈선사고에는 기중기와 주변의 구조물과의 간섭으로 인하여 기중기를 이용한 복구가 어려워 휴대용 복구장비인 체크키트를 이용하여 복구하여야 한다. 휴대용 복구장비는 탈선 차량이 선로에서 멀리 떨어진 경우 사용이 어려우며, 복구 과정에서 작업자의 부상위험이 높고 작업시간이 오래 걸리는 문제가 있다. 또한 휴대용 복구장비의 중량이 무거워 사고 장소까지 이동에 어려움이 있다. 터널, 역사 및 교량과 같이 선로주변에 많은 장애물이 존재하는 지역에서 탈선된 철도차량의 효율적인 복구를 위해서는 현재의 장비가 아닌 새로운 형태의 복구장비 개발이 필요하다.

현재 운영중인 탈선사고 복구용 기중기는 비상시를 위해 24시간 운영인력이 비상대기를 하여야 하며, 비상시를 위해 상시에 유지보수 작업이 필요하다. 또한 비상대기 인력은 철도차량운행을 위한 장비면허가 필요하여 철도운영기관의 부담이 있는 실정이다.

새로 개발된 장비는 기중기와 같이 상부에서 인상하는 구조이외에 지게차와 같이 하부에서 차량을 인상하는 구조로 되어 있어 터널 및 교량 등 주변에 장애물이 많이 있는 경우에도 상부의 전차선의 해체 작업 없이 작업이 가능하도록 설계하여 신속한 복구가 가능하도록 하였다. 또한 철도차량이 선로에서 크게 벗어나 탈선한 대형탈선사고의 경우에도 활용이 가능하도록 하여 모든 탈선사고에 활용이 가능하도록 하였다. 또한 열차탈선사고시 신속하게 출동하기 위해서는 철도차량외에 일반 도로차량으로 사고지점과 가장 가까운 지점까지 이동할 수 있도록 하기 위해 조립형태로 구성하여 현장에서 조립하여 복구에 투입할 수 있도록 하였다. 또한 평상시 유지보수 비용 및 비상대기 인력을 최소화하기 위해 유니목 등에 부착된 유압공급장치나 소형 발전기만으로 작동이 가능하도록 제안하였다.

탈선된 차량의 인상을 위해서는 차량의 인양점의 하부에 복구장비의 접근이 가능하여야 한다. 그러나, 도시철도 터널내 기둥, 역사내 구조물과의 간섭이 있는 경우, 단선터널로 지게차 형태의 복구장비의 접근이 어려운 경우, 기존의 기중기 사용이 어려운 경우 현장에서 조립이 가능한 기중기를 활용할 수 있도록 하였다. 조립형태의 기중기는 인양 능력에 따라 부피와 중량이 결정되어 차종별로 최적화된 기중기의 제작이 가능하도록 본 기획연구에서 제시하였다. 즉 차종별로 디젤기관차와 같이 140톤 규모의 차량의 탈선 복구용, 50톤 이하인 고속철도, 도시철도의 탈선복구용 등과 같이 규모에 따라 제작이 가능하도록 하였다.

(3) 철도터널에서 발생한 열차 충돌사고 복구장비 개발 기획연구

일반선로에서 발생한 열차 충돌사고는 파손된 철도차량을 철도사고 복구용 기중기 혹은 민간의 기중기를 이용하여 선로로 이동하거나, 철도 운행에 지장을 주지 않는 공간으로 이동시킬 수 있다. 기중기를 이용하기 때문에 신속하고도 안정적인 작업이 가능하며, 충돌로 인해 차량의 변형이 크게 발생한 경우도 활용이 가능하다. 그러나, 터널 혹은 민자역사와 같은 공간에서 발생한 열차탈선사고에는 기중기와 주변의 구조물과의 간섭으로 인하여 기중기를 이용한 복구가 어려워 파손차량을 절단기로 분해하여 평판차량에 싣고 차량기지로 이동하여야 하기 때문에 사고복구에 상당한 시간이 소요된다.

터널, 역사 및 교량과 같이 선로주변에 많은 장애물이 존재하는 지역에서 충돌로 변형된 철도차량의 효율적인 복구를 위해서는 현재의 장비가 아닌 새로운 형태의 복구장비 개발이 필요하다.

새로 개발된 장비는 탈선사고시에 활용되는 하부에서 차량을 인상하는 장비와 차량의 이동을 위해 높이가 낮게 제작된 평판차량으로 구성된다. 이 경우 어느 정도의 변형이 발생해도 선로를 통한 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있다. 또한 충돌로 인해 차량이 전복된 경우 전복된 차량을 세우기 위해서는 20~130톤이 넘는 철도차량의 하중을 견딜 수 있는 대용량 에어백의 도입이 동시에 필요하다. 에어백이나 파손차량의 이동을 위한 평판차량에 대해서도 차량의 하중별 특성을 고려한 용량을 설정하여 기관별로 복구장비의 운영 및 상호 공통활용이 가능하도록 하는 방안이 필요하다.

(4) 철도터널에서 발생한 열차 화재사고 진압장비 개발 기획연구

철도터널의 경우 화재진압을 위한 설비는 연결송수관이 유일하나, 유지보수 및 동파방지를 위해 평상시에는 송수관에 물이 없는 상태로 유지되고 있다. 화재시 외부에서 물을 공급하는 방식이나, 외부에서 물을 공급한은 경우 연결송수관에 물이 차서 사고지점에 물이 분무되기 전까지 약 40분 이상이 소요되어 신속한 대응이 어려운 문제점이 제기되었다. 화재 진압을 위해서는 소방관이 화재열과 연기로 가득찬 터널의 화재발생 위치까지 도보로 접근하여 연결송수관에 호스를 연결하여 화재 진압을 하여야 하는데 현실적으로 불가능하다. 연결송수관이 설치되어 있지 않은 경우에는 터널 내로 소방차가 진입할 수 없어 화재의 진압 불가능한 실정으로 특수 구난 차량을 이용한 신속한 화재복구 방안의 마련이 필요하다.

화재열차에 탑승한 터널 내에서 외부로 피난할 수 있는 수직갱이나 사갱 또는 터널 출구까지 전파되는 화재열 연기보다 빨리 피난하여야 하는데 화재연기의 속도가 피난 속도보다 빠를

경우 피난 승객은 연기에 질식하게 되어 피난이 불가능하다. 신속한 구난을 위해서는 선로를 통해서 안전한 장소까지 이동이 가능한 구난 차량이 효율적이다.

철도터널 화재 진압/구난 특수 차량의 개발 및 도입과 체계 구축으로 인하여 철도터널에서 화재발생시 지정된 시간 이내에 화재 진압 및 구난이 가능한 특수차량이 화재발생 위치에 도착하여 화재진압 및 승객 구난을 성공적으로 수행하여 최소한의 재산 피해와 안전한 인명 구난을 가능케 할 수 있다. 화재 진압 및 구난 특수차량은 화재시 발생하는 유독가스와 연기로 부터 보호하는 기능, 화재 진압기능, 선로를 통해 탈출한 승객의 식별 및 구난기능, 특수차량 진입이 어려운 경우 원격조종을 통한 화재진압 장비의 투입 등 다양한 기능을 수행할 수 있도록 개발하고자 하였다.

(5) 철도교량 등에서 발생한 열차 탈선사고 복구장비 개발 기획연구

철도교량에는 전신주, 각종 통신제어 설비, 옹벽 및 방음벽 등 다양한 시설물이 설치되어 있으며, 과거에 설치된 교량의 경우 사고복구용 기중기 운영을 위해 필수적인 지가(Out-trigger) 설치공간이 없어 사고복구용 기중기를 이용한 복구에 어려움이 있다. 일반 선로의 경우 도로용 기중기를 이용하여 복구가 가능하나, 교량에서 발생한 사고의 경우 교량 하부 진입공간이 부족하거나, 산악지형에 설치된 교량의 경우 교각의 높이가 50m 이상 높은 곳이 있어 일반적인 기중기의 사용이 어려운 실정이다. 언양고가와 같은 경우 교각높이도 높으며, 하부에 고속도로가 지나고 있어 사고 복구용 기중기의 접근이 어려울 수 있다.

본 기획연구에서 제시된 탈선사고 복구장비를 활용할 경우 협소한 작업공간에서도 탈선차량의 복구가 가능하여 시설물의 철거 및 재설치 시간을 단축시켜 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있다.

(6) 철도교량 등에서 발생한 열차 충돌사고 복구장비 개발 기획연구

열차 충돌로 인한 철도차량의 변형으로 선로를 통한 이동이 불가능할 경우 장시간의 열차운행 통제로 연결된다. 이러한 이유로 중국에서 2011년 발생한 교량내 열차 충돌사고 처리시 파손차량을 지상으로 추락시켜 매장하였다. 그러나 국내에서는 교량내 파손 열차를 지상으로 처리하기 어려워 파손 차량을 일일이 분해하여 평판차량으로 이동하여야 한다. 이러한 과정에서 3일 이상의 막대한 시간이 소요되어 장시간의 열차 운행중단이 예상된다. 또한 파손차량의 처리과정에서 교량에 설치된 전신주, 옹벽 및 방음벽 등 다양한 시설물과의 간섭으로 사고

복구용 기중기의 사용이 어렵다. 일반 선로의 경우 도로용 기중기를 이용하여 복구가 가능하나, 교량에서 발생한 사고의 경우 교량 하부 진입공간이 부족하거나, 산악지형에 설치된 교량의 일반적인 기중기의 사용이 어려운 실정이다.

본 기획연구에서 제시된 충돌사고 복구용 대용량 에어백, 탈선복구 장비, 높이가 낮은 평판차량 혹은 임시 대차를 이용할 경우 작은 변형이 발생한 파손차량의 경우 신속한 이동이 가능하여 사고복구 시간을 크게 단축시킬 수 있을 것으로 예상된다. 충돌사고는 차량의 변형 및 탈선으로 연결되는 경우가 많아 충돌사고 복구장비는 탈선복구장비와 동시에 출동하여 현장에서 활용된다.

(7) 철도교량 등에서 발생한 열차 화재사고 진압장비 개발 기획연구

교량에서 열차 화재사고 발생한 경우 여객을 신속히 안전한 지상으로 대피시키고, 차량 화재를 진압하기 위해서는 비상 구난차량이 필요하나, 화재로 인해 전차선이 단전되거나, 화재가 진행하여 화염의 범위가 넓은 경우 일반 디젤구원기의 접근이 불가능하다. 또한 교량의 높이가 높고, 일반 소방차의 진입로가 확보되지 않아 신속한 화재진압이 어려운 실정이다.

화재 진압용 특수 구난차량은 터널은 물론 일반선로, 교량에서도 활동이 가능하여 여객의 대피 및 화재진압에 효과적으로 대응할 수 있어 여객의 안전한 대피와 구조물의 파손을 최소화할 수 있다.

위험물의 철도운송중 발생한 위험물 및 환경오염을 유발하는 유류 유출 사고시에 화재구난을 위한 특수차량의 소화용수 탱크를 교체하여 운영하는 경우 위험물의 중화 및 환경오염정화 작업에 활용할 수 있도록 신속하게 다목적 차량으로 개량이 가능하다.

(8) 철도터널 및 교량 등에서 발생한 위험물 유출사고 복구장비 개발 기획연구

철도를 이용한 화물운송 과정에서 발생한 사고는 이리역 폭발사고가 있다. 반면, 유독성 화학물질의 누출로 인한 사고는 국내에서는 아직 발생하지 않았다. 이러한 이유로 유독성 물질의 누출사고 혹은 열차의 충돌 및 탈선으로 인해 유독물질이 유출된 경우 중화 및 복구를 위한 장비의 구축이 요구된다. 현재 일반선로에서 발생한 경우 군·경찰·소방대의 지원을 받고 있으나, 교량 및 터널에서 발생한 경우 해당기관의 지원이 어렵고, 사고현장의 접근이 일반장비로는 불가능하다. 이를 위해 화재진압 및 구난용으로 개발된 차량을 활용할 경우 효율적인 대응이 가능할 것으로 분석된다.

2.4 연차별 연구비 및 연구기간

제도화 관련 1개과제와 사고복구장비 6종이 개발될 예정이며, 제도화 과제는 4년간 15억과 과제간의 인터페이스 및 System Engineering 관련 비용 5억 등 총 20억이 소요된다. 장비개발 과제는 3년간 150억의 예산이 소요될 것으로 계산되었다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축 및 장비개발 연구 (170억)						
	1년차	2년차	3년차	4년차	사후관리	예산
사고복구 체계 구축	SE, 사양결정				체계구축 및 장비의사후관리	20억 (4년)
	유형별 복구시나리오 개발					
	매뉴얼, 시설 및 차량안전기준 개선					
			현장 적용성 검증 및 적용			
탈선사고 복구장비 개발 연구	국내 최근 10년간 열차사고의 70%	장비개발 SE				60억 (3년)
		이동식/조립식 크레인 개발				
		지게차 형태의 크레인 개발				
		차량하부 작동 인양장치 개발				
충돌사고 복구장비 개발 연구	열차사고의 20%	장비개발 SE				20억 (3년)
		높이가 낮은 평판차량, 가대차 개발				
		복구용 대용량 Airbag 도입				
화재사고 진압장비 개발 연구	열차사고의 10%	장비개발 SE				70억 (3년)
		화재진압 차량/워터 미스트 개발				
			화재진압/대응 장비 운영방안			

사고복구 장비 5종의 개발과 관련된 비용 150억중 10%인 15억은 개발기업인 민간의 매칭펀드로 설정하였다. 사고복구 장비는 국내의 특성으로 개발되는 장비로 국외에서도 활용이 가능하고 장기적으로는 도움이 되나, 시장 규모가 작고, 국내에서도 복구장비를 한꺼번에 구매하기 보다는 내구연한에 도달하여 폐기되는 기존의 복구장비를 대체하거나, 관련된 예산이 확보된 이후에 철도운영 현장에 투입되어 민간업체에서 개발을 기피하는 장비이다. 이를 고려하여 정부예산과 민간의 예산을 설정하였다. 연차별 투입비용을 다음표에 수록하였다.

(단위 : 백만원)

구분	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	합계
정부	500	4,100	6,800	4,100	15,500
민간		400	700	400	1,500
합계	500	4,500	7,500	4,500	17,000

사고복구체계 구축과 관련된 과제에서는 각종 제도화와 현장 의견수렴을 위한 사고복구체계 구축연구는 분야별 전문가 13인 이상이 참여하는 과제로 연평균 5억원으로 4년간 20억이 소요된다. 여기에는 사고복구장비 개발의 사전연구비 5억원이 포함되어 있으며, 실제 사고복구 체계구축에는 15억원의 예산이 투입된다. 사고복구 장비에 대한 세밀한 검토없이 바로 설계 및 제작을 할 경우 시행착오가 예상되어, 사고복구 체계구축과제에서 장비개발 사양(안)을 결정 후 차년도에 본격적인 연구를 통해 세부적인 장비개발을 추진하면 시행착오를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 신뢰성을 높이기 위한 방안으로 현재 분야별로 개발되어 있는 요소기술을 활용할 경우 개발 기간을 단축 시킬 수 있으며, 단축된 기간을 각종 검증과 현장 활용성 시험 에 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

2.5 추진전략

(1) 건설기계 산업의 요소기술을 활용한 개발 추진

터널 및 교량에서 사용이 가능한 기중기는 기존의 기중기의 개량이 아닌 하부인상 형태의 기중기로 전혀 새로운 장비이다. 그러나 기중기의 요소별 기술은 이미 개발되어 다양한 상품이 상용화 되어 있다. 따라서 새로 개발되는 기중기는 프레임 설계를 한 후에 이미 개발된 요소기술을 조합하여 개발할 수 있도록 하였다.

(2) 개발 장비의 신뢰성 확보 방안 마련

사고복구 장비는 사용 빈도는 낮으나, 비상시를 대비하여 항상 비상출동 상태를 유지하여야 하는 장비이다. 이를 고려하여 장비에 핵심적인 요소만을 반영하여 고장을 최소화하고, 이미 개발되어 있는 요소기술을 활용하여 신뢰성을 높이려 하였다. 또한 건설기계에서 이미 사용 중인 모듈을 도입하여, 장비의 고장시 수리를 용이하게 하였다.

(3) 현재 운영장비와 동시활용 방안 마련

현재 운영중인 사고복구장비와 신규개발 장비의 공동활용 전략의 수립 방안을 모색하며, 운영 기관별 복구장비의 상호운영 방안을 고려하고자 하였다.

(4) 사고복구 장비의 효용성 고려

사고장소까지의 접근로를 고려하여 접근로가 용이하지 않은 경우에는 도로차량을 이용한 접근이 가능하도록 장비를 개발하고자 하였다. 도로차량을 이용하여 철도터널 및 교량까지 진입 시 접근로가 협소하거나 장애물이 있는 경우를 고려하고자 하였다. 또한 개발되는 장비가 중량물로 작업자가 직접 들고 이동할 수 없는 점을 고려하여 필요시 중량물 이동설비를 함께 활용할 수 있도록 하였다.

(5) 사고복구 시간 단축을 고려

전차선의 해체작업이 없이 복구가 가능하도록 차량하부에서 인상하는 구조의 복구장비 개발 방안을 제시하였다. 이를 통해 사고복구 시간을 2시간 이상 단축할 수 있을 것으로 예상된다.

(6) 단계별 추진전략 수립

단기, 중기, 장기로 구분된 추진전략을 수립하여 연구수행. 단기적으로는 사고복구 장비개발, 중기적으로는 교육훈련 및 제도개선, 장기적으로는 열차의 우회선로 확보방안 마련 및 사고복구 전문가의 국제교류 등을 추진하고자 한다.

(7) 차량 및 운영기술의 동시개발 추진

화재진압 구난차량의 요소기술은 개발되어 있으며, 이들 요소기술을 조합하는 과정에서 시행착오를 최소화 하기위해 장비의 운영성을 동시에 고려한 기술개발을 추진하고자 하였다.

(8) 다목적 활용성을 고려한 개발 추진

개발 차량의 주된 용도는 화재 진압 및 구난이나, 사고의 빈도가 낮아 위험물 및 유독물질 유출시 환경오염방지를 위한 기능을 갖춘 차량으로 신속히 개량이 가능하도록 하였다. 또한 교량구간에 정차한 열차의 승객의 대피 등 다목적으로도 활용이 가능하도록 하였다.

(9) 선행연구를 통해 개발된 요소기술의 활용

터널용 화재 진압/구난 차량의 개발에 요구되는 워터미스트, 폼의 개발, 소화호수/물탱크, 연기제어용 팬의 제어기술, 연기 유입차단을 위한 에어록 등 다양한 요소기술과 관련한 선행연구 내용을 활용하여 개발기간 단축과 개발된 장비의 신뢰성을 높이하고자 하였다.

제3장 기대 및 파급효과

3.1 주요 예상성과(outcome) 및 활용방안

본 기획연구의 최종성과물은 철도사고복구 체계구축 및 장비개발에 대한 기획연구 방안이다. 기획연구를 통해 총 4개 과제의 추진방안을 제시하였으며, 제시된 과제가 추진될 경우 11개의 성과물이 도출될 예정이다. 최종적으로는 철도사고 및 장애발생시 효율적인 대응이 가능하여 철도운행중단 및 피해를 최소화 할 수 있을 것으로 예상된다. 다음 표에 본 기획연구에서 제시한 세부 과제별 최종성과물과 활용방안을 요약하여 수록하였다.

세부 과제명	최종성과물	활용방안
사고복구 체계구축	사고복구 관련 제도의 개정(기준 마련) 사고복구 의사결정 지원 체계 마련 철도사고 시나리오별 복구장비 운영방안 사고복구 관련 매뉴얼/교육 방안 마련	열차사고의 신속한 복구 및 비상대응/교육훈련
탈선사고 복구장비 개발	터널에서 활용이 가능한 지게차 형태의 기중기 접근로가 없는 사고현장에서 조립이 가능한 탈선복구용 기중기 차량 하부에서 작동 및 탈선복구가 가능한 기중기	열차탈선사고의 신속한 복구(교량/터널 포함)
충돌사고 복구장비 개발	파손차량의 신속한 이동위한 높이가 낮은 평판차량, 가대차 전복차량 복구를 위한 대용량 에어백	열차충돌사고의 신속한 복구(교량/터널 포함)
터널화재 진압/구난 차량 개발	철도터널 화재 진압/구난 차량 개발 및 요소기술 개발 - 화재진압 시스템(물대포, 워터미스트, 폼 등) - 무인용 소화모듈 차량, 구난 및 이송 철도차량 개발 소화/구난 특수 차량의 대기 및 접근 운영 계획 -화재진압시 소방대와의 긴밀한 협조를 위한 체계 구축	터널화재 사고, 위험물 누출사고

3.2 경제적 측면

철도사고시 신속한 대응을 위해 매년 철도운영기관에서는 사고복구훈련 및 사고복구 인원을 24시간 비상대기 체계를 유지하고 있다. 관련 인력의 상시 비상대기가 필요하며, 장비운동을 위한 기관사, 복구인력, 복구 책임자 등 많은 인원이 관련되어 업무 부담이 크다. 따라서 많은 철도운영기관에서는 관련 부서의 근무를 기피하는 경우도 발생하고 있다. 사고시 최소 2개 이상의 복구장비를 동시에 출동시켜 사고복구장비의 고장 및 기타 예상치 못한 사고에 대비하고 있다. 반면, 사고복구 장비는 사고복구 이외의 용도인 철도건설이나 유지보수 작업에 활용할 수 없도록 대부분의 철도운영기관 사규에 규정되어 있다. 반면, 철도사고 빈도가 지속적으로 감소하는 추세로 경우에 따라서는 철도사고 복구용 장비의 훈련을 제외하면, 실전에 활용한 실적이 연간 1회 미만이거나 없는 경우도 발생한다. 철도터널의 화재시 화재진압을 위해 설치하는 연결송수관의 경우 1km 건설시 3억원, 10km 건설시 25억, 20km 건설시 48억 이상의 막대한 예산이 소요된다. 반면, 화재사고시 활용면에 있어 신속한 대응이 어려우며, 다양한 유지보수가 필요하다.

본 기획연구에서 제안한 사고복구체계 구축연구를 통해 효율적인 대응체계를 마련한다면 비상대기 장비 및 인력에 대한 최적화가 가능하여 불필요한 비용을 절감할 수 있을것으로 예상된다.

사고복구장비에 있어 현재 탈선복구장비인 철도사고복구 기중기의 대당 구매가는 22억원이나 이를 대체하기 위해 본 과제에서 제한한 장비는 대당 구매가가 5억 미만으로 경제성이 높다. 또한 유지보수 비용이나, 장비 이동을 위한 추가인력을 최소화 할 수 있다. 국제적으로 수요가 적어 관련장비에 대한 요구는 있으나 개발비 등의 부담으로 많은 국가에서는 2~3개 업체에서 개발한 복구장비를 수입하여 사용하고 있다. 본 기획연구에서 제안한 장비는 전혀 새로운 형태의 장비로 개발이후 국제적으로 판매가 가능할 것으로 예상된다.

화재사고 복구/진압 장비의 경우 연구개발비를 제외하면 장비의 도입가는 특수차량 편성당 40억 미만이며, 국내에 대해 8편성을 운영한다고 가정하면 300억으로 국내의 연결송수관의 설치 및 유지보수 비용대비 경제성이 매우 높다고 할 수 있다. 이로 인해 유럽의 많은 국가에서 기존의 연결 송수관을 대체하는 방안으로 특수 구난 차량의 도입이 추진중에 있다. 탈선복구장비의 경우 복구장비의 수명을 30년으로 설정한 경우 기존의 운영중인 사고복구용 크레인 과 개발장비 사용시의 기대이익을 다음의 표에 수록하였다. 아래표에서 사고복구 시간 단축으로 얻어지는 이익은 비용으로 계산하기 어려워 제외하고 산출하였다.

표 탈선복구장비의 경제적 타당성 비교(사고복구 시간 비용 제외)

	현행 장비	개발 장비	기대 이익
복구장비 구축비용	308억 (22억×14대)	70억 (5억×14대)	238억
유지보수 비용	84억 (0.2억×14대×30년)	4.2억 (0.01억×14대×30년)	80억
인력운영 비용	210억 (0.5억×14대×30년)	84억 (0.2억×14대×30년)	126억
계 (연평균 비용)	602억 (20억)	158억 (5.3억)	444억 (14.8억)

화재복구장비의 경우 현재 설치가 진행중이거나 설치예정인 연결송수관의 대체비용, 혹은 내구연한이 되어 교체가 되는 연결송수관의 길이를 400km로 가정하여 20년 수명으로 계산하였다. 이 경우 기대 이익은 20년간 492억으로 연평균 25억의 기대이익이 예상된다. 여기에는 화재진압차량의 운영을 위한 전문인력 운영비용이 포함된 비용으로(현행 화재안전관리자와 병행시 추가비용 없음) 산정하였다.

표 화재복구 장비의 경제적 타당성 비교

	현행장비	개발 장비	기대 이익
진압장비 구축 비용	1,200억 (3억×400km)	700억 (50억×14편성)	500억
유지보수 비용	80억 (0.01억×400km×20년)	28억 (0.1억×14편성×20년)	52억
인력운영 비용	80억 (0.01억×400km×20년)	140억 (0.5억×14편성×20년)	-60억
추가 이익	터널 청소	사고시 인명구난 오염사고 유독물질 제거	미계산
계 (연평균 비용)	602억 (30억)	158억 (7.9억)	492억 (25억)

충돌로 인해 터널에서 차량이 파손된 경우는 국내에서 발생하지 않았으며, 관련 장비가 구축되어 있지 않은 실정으로 신규로 구축예정이다. 따라서 현행 장비가 없는 상황으로 상호비교가 불가능하여 수록하지 않았다.

3.3 기술적 측면

과거에는 국내의 건설기계개발 기술이 부족하였으나, 최근에는 관련된 기술이 급격히 발전하였다. 또한 건설장비의 세부적인 요소기술들이 모듈화되어 있어, 사고복구장비 개발시 전체를 개발하는 개념이 아닌, 복구 장비의 프레임을 설계한 후에 에너지 공급 모듈, 이송모듈, 견인 모듈, 체인 제어 모듈, 유압제어 모듈 등 세부적인 기술들이 모듈 등을 조합하는 기술이다.

철도사고 복구장비의 사양에 있어 과거 디젤기관차의 하중을 고려하여 장비의 사양을 결정하였다. 이로 인해 국내에서 제작 가능한 업체가 없는 수준으로 장비의 사양이 높아져 전량 국외에서 도입하여 유지보수상의 문제가 제기되었다. 그러나 최근에는 디젤차량이 감소하는 추세이며, 고속철도, 도시철도의 경우 차량의 하중이 크게 감소하여 국내업체가 제작이 가능한 수준이 되었다. 이와 동시에 국내의 건설기계 제작업체의 기술력이 향상되었으며, 관련 기술이 모듈화되어 새로운 장비의 개발환경이 크게 개선되었다.

철도터널의 화재사고 진압 및 구난장비의 경우 2004년부터 관련연구가 수행되었으며, 사고진압 및 구난을 위한 요소기술이 상당부분 개발되었다. 다만, 요소기술에 대해 검증 등이 필요한 분야에 대해서 추가적인 연구가 필요하며, 이들 연구를 조합하면 특수구난 차량의 개발이 가능할 것으로 예상된다. 특수구난 차량은 국외에서 개발되어 운영중이나, 유지보수 및 개량이 빈번히 이루어지고 있어 국내 도입시 어려움이 예상된다. 또한 국내에서 최초로 개발 운영되는 점을 고려하면, 연구개발과 동시에 추진이 필요하다. 다만, 요소기술이 개발되어 있는점과 국외의 운영기술에 대한 분석을 본 기획연구를 통해서 완료되어 제안된 과제추진 기간동안 신뢰성이 높은 장비의 개발이 가능할 것으로 예상된다.

여기에 철도운영 특성을 고려한 장비의 사양설계, 철도 선로 및 도로차량을 이용한 장비의 운영, 종사자의 교육 등 복합적인 기술이 동시에 고려된다. 과거에 사고복구 장비 개발시 가장 어려웠던, 세부적인 모듈의 요소기술이 건설기계 산업이나, 철도안전 연구과정에서 개발되었다. 따라서, 본 기획연구에서 제시된 복구장비 개발과정의 기술적 타당성은 입증되었다고 볼 수 있다.

본 기획연구를 바탕으로 장비가 비상시 사용되는 점을 고려하여 장비개발시 개발 장비의 현장 활용성과 신뢰성, 작업자의 안전성을 동시에 고려하도록 한다면, 국내의 활용은 물론 국제적으로도 활용이 가능할 것으로 예상된다.

제4장 기존 기술과의 차별성

4.1 기존 핵심기술의 현주소

기존의 사고복구장비는 일반선로에서 발생한 사고복구장비였으며, 국외에서 전량 수입하였다. 국내의 경우 수요가 많지 않았으며, 복구장비와 밀접한 관련이 있는 건설기계산업의 요소기술이 크게 발달하지 않았다. 또한 국내 철도사고복구장비의 수요가 많지 않고, 운영기관이 제한되어 있어 국내에서 개발이 되지 않았다. 해당 제품은 모두 미국, 독일 등에서 개발되어 전세계에서 이를 구매하여 사용하는 체계였다.

그러나, 국내의 철도운영환경이 급격히 변화하여 전차선로 설치, 터널 및 교량구간이 증가하여, 기존 장비의 활용이 어려워져 새로운 장비의 도입이 요구된다. 그러나 국제적으로 터널 및 교량구간의 사고복구장비가 개발된 사례가 없어 국내에서 개발이 필요하다.

과거에는 철도차량의 중량을 130ton 이상으로 설정하여 복구장비를 운영하였으나, 최근 차량의 경량화 및 복구과정이 변경되어 60ton 정도의 인양능력을 갖는 장비운행을 통해서도 열차사고의 복구가 가능해졌다. 이로 인해 국내에서 관련 장비를 충분히 개발 운영할 수 있는 여건이 조성되었다.

4.2 개발 예정인 핵심기술의 개발 목표 설정

복구장비의 주요 기능을 아래의 개념도에 표시하였다. 사양으로는 인양능력 80톤 이상(근거 : 디젤기관차의 60% 하중이며, 도시철도운영기관은 차종에 따라 감소 가능), 차량의 제원(길이 5m x 높이 3.9m x 폭3.2m 이내), 수직이동 높이 60cm 이상, 수평이동 거리 1m 이상, 장비 중량 15톤 이하 등으로 설정하였다. 이들 사양은 초기 사양으로 세부 연구과정에서 변경이 가능하다.

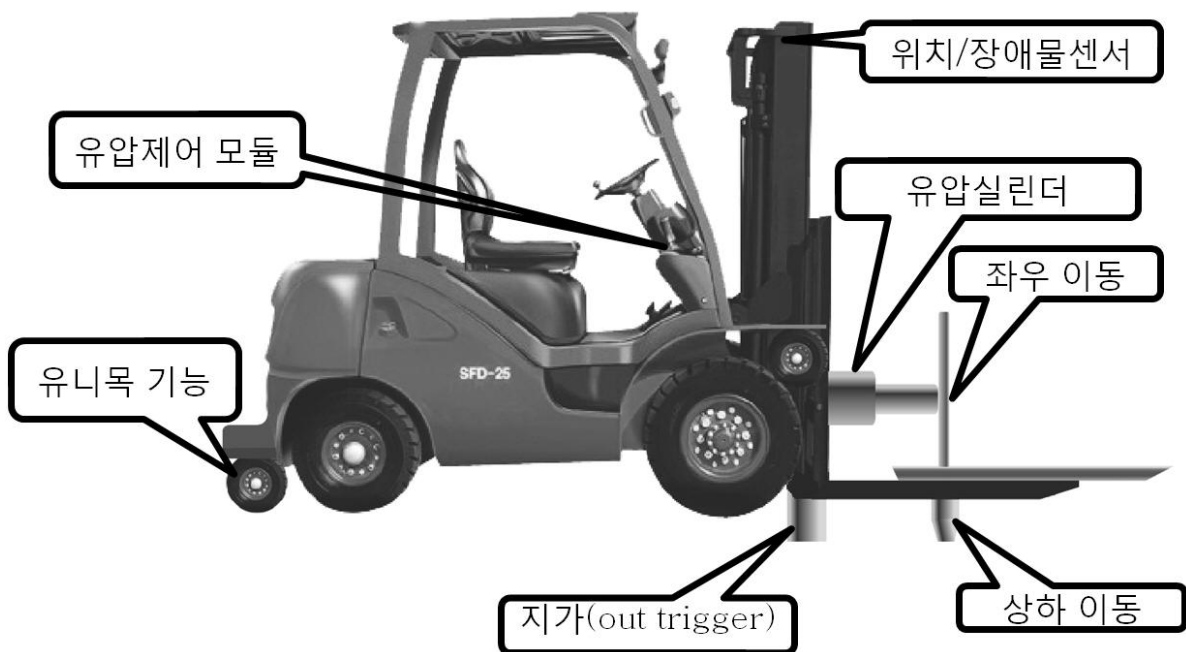


그림 차량하부 인상구조의 탈선복구장비의 주요 기능에 대한 개념도

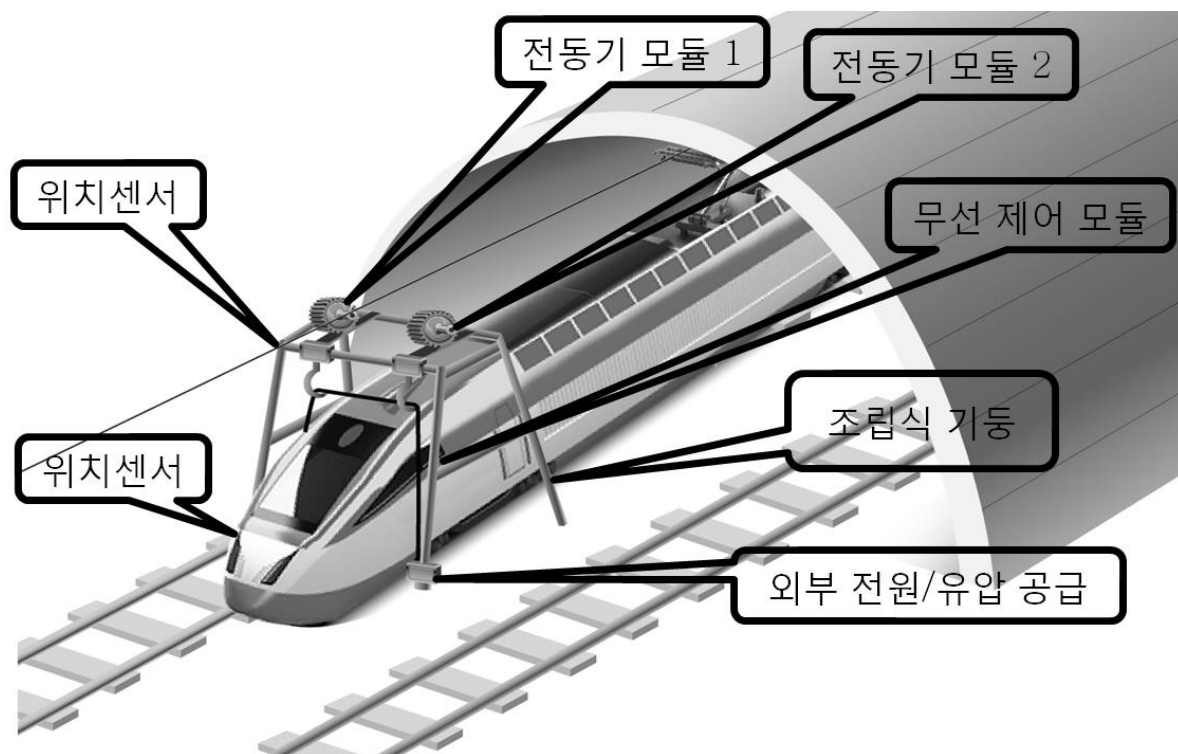


그림 현장 조립이 가능한 탈선복구용 기중기에 대한 개념도(단선터널 적용 가능)



그림 탈선차량의 복구장비 운영에 대한 개념도



그림 충돌로 인해 파손된 차량의 임시이동을 위한 임시 이동차량 개념도

철도터널 화재진압을 목적으로 개발된 장비의 소화탱크에 중화물질을 탑재할 경우 사고장소까지의 신속한 출동과 현장의 환경오염을 최소화 할 수 있는 복구장비로 전용이 가능하다. 국내의 위험물 유출 사고 및 화재사고 빈도가 낮은 점을 고려하여 다용도로 활용이 가능하도록 개발하고자 하였다.

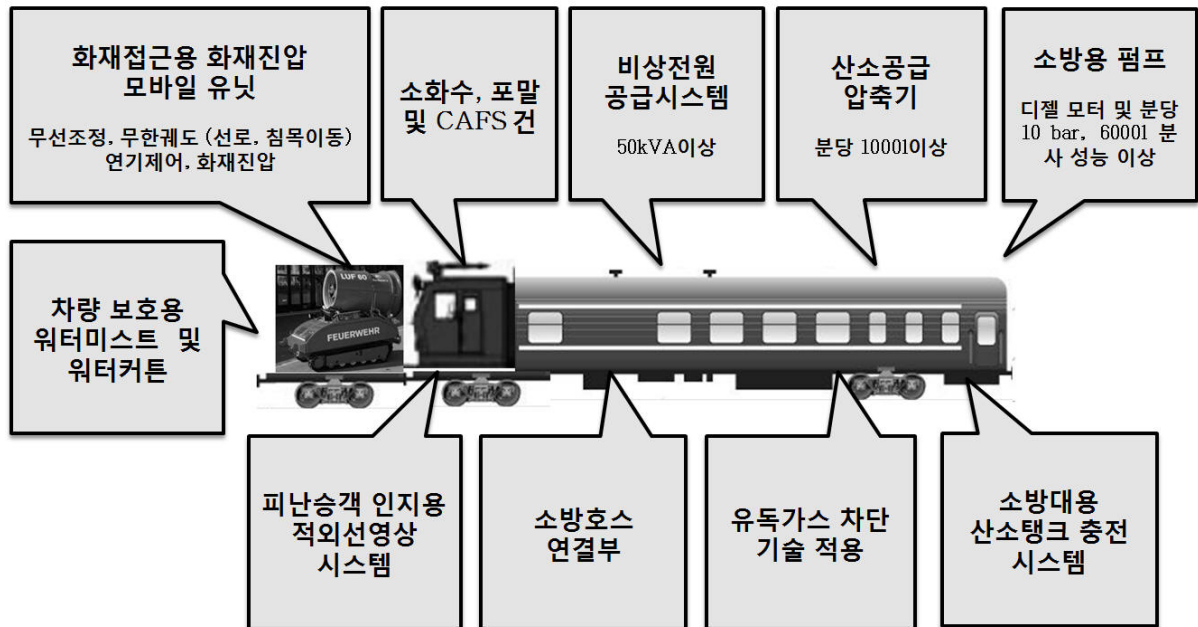


그림 화재진압을 위한 소화 및 장비탑재 차량 개념도

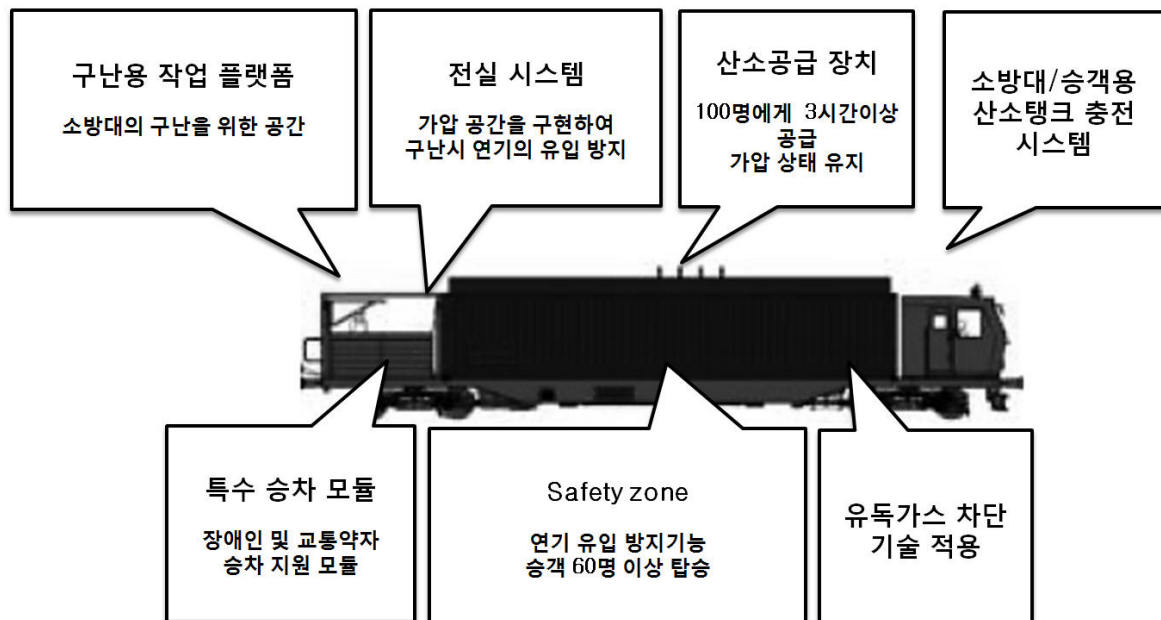


그림 화재시 여객 구난을 위한 특수차량의 개념도

제5장 정부 지원 필요성

2011년 광명역 부근 터널에서 발생한 KTX 탈선사고, 2003년 대구지하철 화재사고는 국민의 철도안전에 대한 신뢰를 추락시키는 사고였다. 국내에서는 이러한 대형참사는 물론, 대형 참사로 연결될 수 있는 열차사고(열차의 충돌, 탈선, 화재사고)와 철도건널목 사고가 수시로 발생하고 있다. 또한 현장에서는 인적·물적피해가 없는 사고로 연결될 수 있는 운행장애가 다수 발생중이다.

철도에 대한 국민의 신뢰를 회복하고, 철도 노선 및 여객수의 지속적인 증가에 부응하기 위해서는 철도사고에 대한 신속한 대응체계 구축이 필수적이다. 이를 위해서는 정부의 제도개선, 철도운영자의 장비확보, 종사자의 교육훈련 등이 요구된다. 그러나, 이러한 활동은 다수의 예산이 수반되는 반면, 단기적인 효과는 나타나지 않아 민간에서 투자를 기피하고 있는 분야이다.

철도사고의 효율적 복구를 위한 체계구축을 위해서는 현행 제도와 각종규정, 현재 운행중인 장비의 문제점, 사고복구과정의 문제점 등과 연결되며, 국가 기반 교통망과 연계되어 있다. 철도사고의 복구장비 현장 투입을 위해서는 철도운행환경에 대한 이해, 터널 및 교량의 현황, 사고복구 장비의 출동방식 등에 대한 검토가 필요하다. 국내의 경우 철도가 통과하는 도심구간의 교통정체, 사고복구장비의 선로 진입가능 위치, 도시철도 역사의 특성 등 고려할 사항이 많이 있다. 도시 외곽의 교량 및 터널의 경우 도로를 이용한 접근의 어려움, 협소한 접근로로 장비운영의 어려움 등이 있다. 따라서 연구개발을 위해서는 철도사고 자료의 분석, 철도현장의 이해가 높아야 한다. 이러한 이유로 그동안 선행연구가 진행되지 못하였다. 반면, 사고복구체계 및 장비에 대한 수요가 많지 않아 민간기업에서 참여의지가 낮으며, 철도운영기관의 경우 자체개발 보다는 국외에서 개발된 장비의 도입에 의존하여왔다. 그러나, 국내의 철도 터널 및 교량이 지속적으로 증가하고 있으며, 철도운영기관에서 사고복구체계 및 장비의 자체개발에는 한계가 많아 정부의 지원이 필요하다.

정부의 지원하에 국내의 철도운영기관, 철도시설관리자, 연구기관의 전문가가 참여하여 효율적인 사고복구 체계를 구축하고, 이를 토대로 복구장비를 개발하면, 효율적인 운영이 가능할 것으로 예상된다. 열차사고의 복구장비와 관련된 기술은 국내의 건설기계 관련산업체에서 확보하고 있으나, 철도산업에 대한 수요가 많지 않아 적극적으로 연구 및 개발에 나서지 않고 있다. 국가에서 철도사고복구 장비에 대한 지원을 한다면, 국내의 철도운영기관, 건설기계 제작업체 등에서 그 동안 확보된 기술력을 바탕으로 신뢰성이 높은 장비의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

