

# 호주 철도사업의 화재공학

• 출처 FPE 2011년 1분기호 • 번역 장수원 KFPA 인천지부 주임

## 1. 배경

호주에서 철도망의 확장은 주로 지하에 새로운 노선 및 기존 시설을 개선하는 방법으로 이루어진다. 도시서비스의 향상과 확대를 위하여 기존 노선의 수용 능력 증가를 포함한 많은 투자가 이루어져 왔다. 대부분의 철도 노선은 지상에 위치하지만, 밀집된 도심 지역에서는 지하 노선에 대한 수요가 증가하고 있다.

최근 완성된 시드니의 Chatswood와 Epping간의 지하철 노선은 기존 역사 2개와 신규 역사 3개를 연결하는 12km 길이의 쌍둥이 터널이다. 지상 및 지하의 새로운 노선과 함께 시드니의 철도망을 더욱 확장시키려는 계획이 진행되어 왔다. Melbourne, Brisbane, Perth를 포함한 다른 도시들도 그들의 철도망을 확장하고 있다.

호주의 도심 지역에서는 열차의 운행시간표 및 열차가 교외 통근에 적합한 철도시스템을 사용한다. 인구가 점점 밀집되고 있는 도심에서 수용인원을 늘리고, 승강장에서의 환승시간을 줄이기 위하여 새로운 시스템 도입 또는 열차의 설계와 운영을 변경하는 방안이 철도서비스에 제안되고 있다.

## 2. 호주 철도산업의 안전보증

호주에서 철도시스템의 설계와 운영에 있어 안전

보증절차는 이미 기본적인 부분이다. 안전보증절차는 설계에 있어서 신호, 노선 설계, 직업건강 및 안전, 테러위험을 포함한 보안, 소방공학 등 안전에 영향을 줄 수 있는 모든 요소를 다루는 위험기반의 절차이다. 철도감독기관은 일반적으로 전체적인 위험을 검토한다. 그들은 화재안전위험이 급격하게 확대되지 않고, 천천히 유지되기를 원한다. 소방공학 기술자들은 그들의 화재진화전략이 세부적으로 장애에 부딪칠 것을 예상할 수 있다. 성능위주의 설계는 화재진화작전에 어떤 지침을 줄지도 모른다. 그러나 단지 이것에 의존하는 것만으로는 요구되는 안전수준에 확실히 도달할 수 없을지도 모른다.

안전 평가에는 일반적으로 현실적으로 타당한 최저수준 및 이와 관련된 위험절차가 사용된다. 위험은 설계, 시공, 운영 상의 안전에 대한 위험요소를 평가하여 밝혀진다. 주요 위험요소에 대한 정보를 알려주는 결과와 확률인자를 사용하여 위험요소의 순위를 매긴다. <표 1>은 위험도순위에 대해 필요한 조치사항을 나타내며, <표 2>는 위험도순위표의 대표적인 예이다.

<표 1> 위험도순위 및 필요한 조치사항

위험도순위	조치사항
심각한 위험	받아들일 수 없는 위험. 설계와 운영을 개선함.
높은 위험	받아들일 수 없는 위험. 설계와 운영을 실행 가능한 수준으로 개선함.
중간 위험	현실적으로 타당한 최저수준의 경우에만 견딜만함.
받아들일 만한 위험	받아들일 만 하지만 위험에 대한 감시가 필요함.

〈표 2〉 생명 안전에 대한 발생가능성과 결과의 위험도순위표 예시

	가능성 또는 빈도					
	1000년에 한 번	100~1000년에 한 번	10~100년에 한 번	1~10년에 한 번	1년에 1~10번	1년에 10번 이상
	거의 발생하지 않는	희박한	드문	때때로	가능성 있는	빈번한
사망 10인	높은 위험	높은 위험	심각한 위험	심각한 위험	심각한 위험	심각한 위험
사망 2~12인	중간 위험	높은 위험	높은 위험	심각한 위험	심각한 위험	심각한 위험
사망 1인, 2~10인 중상	중간 위험	중간 위험	높은 위험	높은 위험	심각한 위험	심각한 위험
중상 1인	반아들일 만한 위험	중간 위험	중간 위험	높은 위험	심각한 위험	심각한 위험
1인 또는 그 이상의 경상	반아들일 만한 위험	반아들일 만한 위험	중간 위험	중간 위험	높은 위험	높은 위험
경미한 응급조치 등	반아들일 만한 위험	반아들일 만한 위험	반아들일 만한 위험	중간 위험	중간 위험	높은 위험

결과

### 3. 호주 철도산업의 화재안전

호주에서는 치명적인 철도화재가 거의 없었고, 1987년 런던의 King's Cross 화재처럼 가혹한 사건도 없었다. 이에 대한 여러 이유 중 한 가지는 화재의 확산을 방지하기 위하여 운영요원이 조속한 조치를 취하는 것이다. 운영체제가 바뀌고 승객이 증가하고 철도망이 확장됨에 따라, 화재안전을 반아들일 만한 수준으로 유지하는 것이 과제이다.

호주의 건물은 호주건축법을 준수해야 한다. 관행 규범에서는 역사에서 보행거리가 긴 승강장과 에스컬레이터를 피난경로로 사용하는 것을 제안하지 않는다. 또한 전기위험과 열차운행 등의 사안도 그러하다. 2009년에 터널에 대한 새로운 호주기술기준 초안이 발간되었다. 새로운 기술기준은 일반적으로 관행적인 요구사항은 피하고, 높은 수준의 지침을 제공하는 위험기반의 접근방법을 채택하였다. 호주에서 역사와 터널 화재안전설계에 대한 지침으로 NFPA 130가 종종 사용되고 있지만, 이것은 지역의 철도운영과 화재안전산업의 관행에 부합하도록 신중하게 적용되어야 한다.

철도차량의 화재안전설계는 일반적으로 내부기준, 임기응변적인 시험, BS 6853과 같은 참고문헌을 포

함한 화재안전기준 및 지침의 범주에서 제안되었다. 몇몇 철도전문가들은 현재 재료시험과 소방공학 방법론의 발전을 고려하여 이들 기준을 개정하고 있다.

국제화재공학지침(IFEG)에서는 안전보증절차를 바탕으로 소방공학절차를 정했다. 철도계획에서 화재안전과 관련된 사안에는 주로 설계를 위한 지침을 제공하는 법규와 함께 위험기반의 접근 방법이 적용되었다.

### 4. 소방공학자들의 역할

소방공학은 철도산업에 있어서 새로운 지식분야이다. 소방공학에 앞서, 다양한 학문분야가 화재안전 설계 영역을 발전시켰다. 이러한 발전은 때때로 다른 학문과 분리되어 이루어졌고, 항상 화재안전에 대한 지식을 갖춘 전문가에 의해 수행된 것도 아니었다. 종종 서로 다른 가정을 적용하는 집단에 의해 규정에 대한 해석이 독립적으로 수행되었다. 때때로 철도차량, 터널 및 역사의 설계는 서로 분리된 채 개발되었다. 차량의 운동학적 외형과 같은 몇몇 주요한 설계요소의 조화가 있었지만, 화재안전을 위한 통합된 접근은 거의 없었다. 이러한 방식으로, 어떤 요소에 대하여 화재위험이 제어되지 못한 채 남겨져

있을 지도 모른다.

거의 15년 동안 기반시설 사업에 성능위주의 설계가 이루어져 왔다. 1998년 개장한 시드니 올림픽 공원은 이에 대한 초기 사례이다. 소방공학의 영역은 확장되어 왔고, 구체적인 설계문제를 해결하는 것뿐만 아니라 화재안전설계의 해법을 집적하는 수단이 되었다. 이것은 성능위주의 화재안전설계뿐만 아니라 철도산업에 대한 새로운 투자와 안전보증절차의 도입과 더불어 발생했다. 많은 고객들은 터널, 철도 차량 및 역사의 설계를 위한 매개변수를 설정하고 화재진화전략을 발전시키는 소방공학의 가치를 알아보았다.

## 5. 소방공학의 목적 정의

소방공학의 목적을 정의하는 것은 필수적인 일이다. 소방공학의 목적은 화재로부터 사람들을 보호하고, 인접한 건물로 화재가 확산되는 것을 방지하며, 긴급 구조활동을 가능하게 하는 것을 포함한다. '설계에 의한 안전' 접근방법은 설치, 운영 및 유지상의 위험을 고려하는 것을 포함하여 모든 설계요소에 적용된다. 다른 목적으로는 작은 규모의 화재 이후의 운영 유지, 큰 규모의 화재 이후의 지하단계에서의 운영 유지, 화재의 확산을 피하기 위한 절차의 실행과 관련된 운영상의 계속성 및 신뢰성이 있다. 이를 위해서는 확고한 비상연락체계를 지닌 진화작전을 포함한 사고에 대한 조기 감지 및 대응이 필요하다.

다음은 소방공학이 이러한 목적에 부합하도록 적용되는 사례들을 나타낸다.

### 가. 위험기반 시나리오

위험기반의 접근방법은 기본사례 설계화재, 위협적인 설계화재, 극단적인 사건으로 분류한 화재 시나리오를 선정하는데 사용되고 있다. 이 범주는 [도표]와 같이 결과에 적용될 안전여유를 결정한다. 화

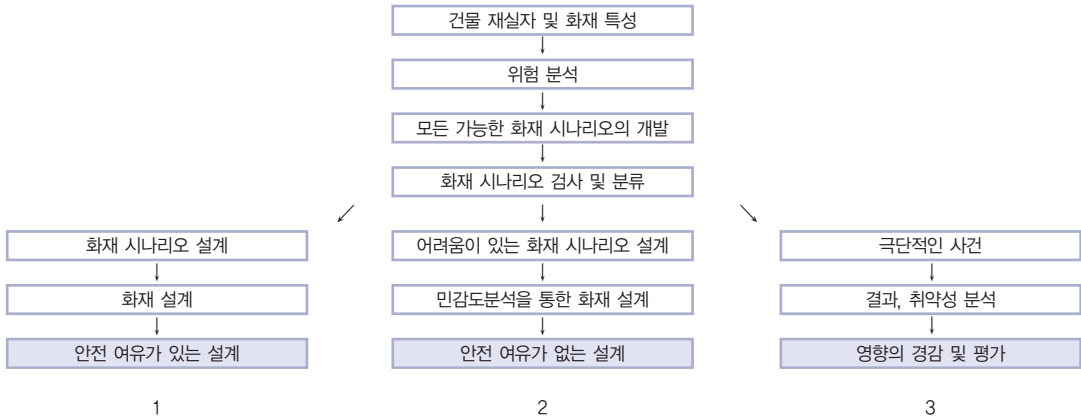
재 시나리오는 화재의 규모와 재실자 수의 조합을 고려한다. 정해진 시나리오는 IFEG에서 정의한 다음과 같은 보조항목에 대해 평가된다.

- 화재 발생, 성장 및 제어
- 연기 발생, 확산 및 제어
- 화재 확산, 영향 및 제어
- 화재 감지, 경보 및 진압
- 재실자 피난 및 제어
- 공공소방대의 개입

### 나. 철도차량과 운행

철도화재안전은 동적시스템의 한 부분이다. 화재 또는 다른 긴급상황에서 열차 승객 수, 터널 내 열차 수, 철도 조작용원의 초기 대응 여부는 시스템 운영과 관련이 있다. 피난을 위한 최적의 장소는 안전을 위한 공간이 확보되고, 열차로부터 긴급하게 피난할 수 있는 역사이다. 화재 상황이 아니더라도 승객이 터널로부터 피난하는 것은 위험할 수 있다. 불에 탄 열차가 계속해서 역사를 향해 움직일 수 있다면 더욱 좋다. 열차가 도착할 때까지 차량 안에서는 화재와 연기의 확산을 제한함으로써 적절한 상태를 만들어야 한다. 재료의 내화성능규격은 다양하지만, 호주에서는 일반적으로 BS 6853과 추가적인 규정을 참조한다. EN 45545와 같은 새로운 국제기준이 채택되고 있다. 철도차량 내부의 열방출을 제한하기 위한 간단한 방법으로서 Duggan method가 종종 사용된다. 이 기법은 실제의 최대화재규모를 예측할 수 있지만, 상세한 분석이 결여되어 열차의 재료규격과 연기의 환기설계를 참조하여 일반적인 의미로서의 화재규모만을 제시한다. Coles, Wolski와 Taylor는 현재 사용되고 있는 철도차량에서의 화재성장에 대한 더욱 상세한 분석을 수행하였다.

철도시스템의 다음과 같은 특성은 화재안전을 향상시킬 수 있다.



[도표] 화재 시나리오

- 차량 하부의 마찰력 또는 브레이크 화재로부터 승객들을 보호하기 위한 객실의 내화바닥
- 동력전달장치에 내화케이블로 연결되어 독립적인 동력전달경로를 가진 복수의 차량
- 전동장치 중 1, 2개가 고장 나더라도 열차가 다음 역까지 운행할 수 있도록 다수의 전동장치 설치

이들은 심각한 화재가 발생하여 하나의 차량에 영향을 미치더라도 열차가 다음 역까지 안전하게 운행하기 위해 중요한 특성이다.

신형의 철도차량은 일반적으로 차량 내부와 하부의 자동화재감지장치, 차량 내부의 모든 부분에 설치된 CCTV, 화성시스템, 승객정보 디스플레이, 승객긴급정보시스템과 같은 다양한 비상연락시스템을 갖추고 있다.

구형의 철도차량이 터널을 통과할 때 종종 직면하는 문제점은 화재안전특성이 미비하거나, 확고한 동력 및 비상연락시스템을 갖추지 못한 것이다. 구형의 열차 또는 지하에서 운행하기에 적합하지 않은 열차들은 위에서 언급한 화재안전특성을 갖추고 있지 않을 지도 모른다. 이런 경우에는 역을 이동하는 동안 열차가 다음 역에 도달할 수 있을지, 또는 객차가 적

절한 내구성을 유지할 수 있을지 확신하기 어렵다.

몇몇 시스템에서는 승무원이나 운전자 없이 열차를 운행하는 것을 포함하여 운영요원의 수를 줄일 수 있는 방안을 검토해왔다. 이런 경우에는 중앙제어실의 원격조작요원에 의하여 지휘되는 긴급피난 대응체제가 필요하다. 이것은 열차, 터널 및 역사에서 반복 가능한 수준의 확고한 비상연락체계를 필요로 한다. 소방공학 기술자는 이런 시스템들이 화재 시나리오를 개발하는데 상호간에 어떻게 영향을 주는지를 이해해야 한다.

화재의 영향을 받는 열차가 다음 역을 향해 운행할 때에는 타당한 수준의 안전이 보장되어야 한다. 보안을 위하여 열차를 개방된 구조로 설계하는 것을 원하는 많은 조작요원들은 차량 간 출입문을 제거하는 방안을 다양한 측면에서 검토해왔다. 이러한 방안은 차량 간 연기확산이 더욱 심해지는 원인이 될 수 있다. 열차가 계속적으로 운행하는 동안 연기 또는 터널에서 열차의 멈춤에 따라 중대한 위험이 있는 경우에 이것은 터널피난설계에 영향을 미칠 수 있다. 호주의 철도터널시스템은 일반적으로 도심지에 위치하고, 역사간의 운행시간은 6분 미만이기 때문에 위험은 일반적으로 적다.

### 다. 역사로부터의 피난

역사로부터 안전하게 피난하는데 영향을 미치는 요인에는 연기제어와 재실자의 거동 등 여러 가지가 있다. 가장 중요한 설계상의 문제는 긴급상황에서의 재실자 수에 대한 하중과 피난을 위하여 적절한 시간을 예측하는 것이다. 일반적으로 NFPA 130의 지침을 준용한다. NFPA 130에 정리되어 있는 것처럼, 각각의 시나리오에 따라 승객의 수는 달라진다. NFPA 130에서는 발차시간 간격을 놓쳤을 때의 재실자하중을 계산할 것을 요구한다. 그러나 추정을 기초로 한 열차하중보다는 양방향으로 도착하는 압괴하중이 걸린 열차와 같은 다양한 가정들이 적용된다. 이는 재실자하중을 추정하는데 차이가 있을 수 있다. 또한 목표 피난시간을 4분과 6분 중에 어느 것으로 정할지에 대한 논란이 있다. NFPA 130에서는 이러한 사항이 경우에 따라 다를 수 있다는 것을 인정하고 있음에도 불구하고, 이에 대한 독단적인 태도가 때때로 나타난다.

재실자하중과 화재 시나리오는 설계 기반에서 민감성과 극단으로 분류될 수 있다. 개개인이 제한된 피난경로를 따라 제한된 지점에서 줄을 서서 대기하는 최대시간의 한계를 사용하면 피난시간을 보다 정확하게 평가할 수 있다. 또한 이것은 제연설비가 작동할 때의 조건과 비교된다. 이들은 피난전략을 설계하고 평가하기 위하여 NFPA 130의 4개 조항의 정확한 의미를 해석하려고 노력하는 것보다 더욱 좋은 방법을 제공한다.

피난분석 과정에서 역사의 깊이에 대한 효과를 이해하는데 어려움을 겪어왔다. 어떤 역사들은 지하 40m 깊이로 계획되었다. 이들은 만약 사람들이 피난계단을 올라갈 필요가 있을 경우 또는 긴 길이의 에스컬레이터를 사용할 경우에 재실자의 이동속도에 장애를 줄 수 있다. 피난흐름이 느려지거나, 상층부에서 사람들이 쉬기 위하여 정지함에 따라 속도가

감소되고, 계단은 붐비며, 압괴하중이 발생할 수 있다. 지하에서 연속적으로 올라가는 동안의 이동속도에 대한 정보는 제한되어 있다.

피난흐름이 적어지는 요인을 찾고, 계단참을 확장하여 휴식공간을 제공하는 것은 이를 위한 해결방안이 될 수 있다. 일반적인 피난을 위한 대용량의 시스템으로서 계단과 에스컬레이터를 대신하여 승강기를 사용하는 것이 제안되었다. 이러한 방안은 NFPA 130에서 인정되어, 세계적으로 몇몇 역사의 설계에 적용되었다. 그러나 호주에서 승강기는 오직 장애인 승객들을 위해서만 이용되어왔다.

피난분석 과정에서 다양한 정보원 또는 컴퓨터 모델링에 의해 얻은 흐름과 보행속도 데이터를 사용한 스프레드시트를 사용할 수 있다. 컴퓨터 모델링을 사용하여 피난경로를 통한 전체적인 흐름을 볼 수 있다. 또한 몇몇의 설계 선택사항에 대한 효과를 시각화할 수 있다.

컴퓨터 유체역학 모델링을 통하여 승강장의 연기 분석을 수행할 수 있다. 승강장에 스크린도어를 설치하면 설계와 모델링은 더욱 어려워진다. 화재 상황에서는 승강장의 혼잡 및 열차의 차량 내 연기로 인하여 혼란이 있을 수 있다. 모든 승객이 열차에서 내릴 수 있을지, 그리고 승강장 스크린도어가 연기를 차단할 수 있을지 여부는 불확실하다.

제연설비를 설계할 때에는 화재 시 승강장 스크린도어가 열린 상태를 고려해야 한다. 승강장 스크린도어와 열차간의 간격은 보통 100mm 미만으로 좁으므로, 철로상부배기장치는 이 간격을 통해 적은 양의 연기만을 배출시킬 것이다. 열차로부터의 연기는 역사의 승강장 부분으로 유입되기 쉽고, 승강장 상부에는 대용량의 연기배기장치가 필요하다.

철로상부배기장치를 더욱 효율적으로 사용하기 위하여 승강장으로부터의 연기를 철로상부배기장치로 유도하도록 승강장 스크린도어 상부에 개방이 가능한 구조의 댐퍼를 설치하는 것과 같은 설계상의 선



택사항이 있다. 그러나 이러한 사항은 다른 설계상의 요구사항과 대립할 수 있다. 예를 들어, 댐퍼의 개방은 승강장 스크린도어 상부의 깊은 보와 간섭할 수 있다. 현실성 있는 설계상의 해결방안을 위해서는 이러한 사안에 주의할 필요가 있다.

#### 라. 터널로부터의 피난

화재로 인하여 터널에서 열차가 전도될 가능성은 적지만 열차 내부와 관련된 대규모의 화재가 발생한다면 피해는 매우 심각하다. 통로와 설비는 최소 안전폭을 유지하여 경제적인 설계의 한 부분으로서 터널의 직경을 증가시키는 것을 피해야 한다. 터널 안에서 붐비는 열차의 피난이 느려질 수 있다.

철도터널에서 종방향 제연설비는 화재 상부 방향의 승객들을 보호할 수 있다. 화재 하부 방향으로의 상황은 일반적으로 무시된다. 이러한 상황은 대부분의 시나리오가 차량 하부의 화재에 대하여 고려된다면, 받아들여질 수 있을지도 모른다. 내화바닥을 이용하여, 승객들은 화재 위를 걸어서 상부 방향으로 갈 수 있을 것이다.

차량 내부와 관련된 대규모의 화재는 발생할 가능성은 적지만, 일반적으로 사람들은 화재 하부 방향에 있을 것이므로, 이러한 시나리오에 대해서도 고려해야 한다. 만일 차량 내부와 관련되어 심각한 열차 화재가 발생한다면, 재실자들은 화재를 넘어 걸어갈 수 없을지도 모른다. 그들은 연기 하류를 통하여 피난해야 할 것이다. 호주에서 이러한 사안은 안전보증절차의 한 부분으로서 평가하도록 요구한다. 이것은 단순히 합격기준으로서의 10m 또는 7m 시계를 사용하는 것보다 더욱 상세한 평가를 요구한다. 피난 상 시계의 영향은 화재규모의 범위를 사용한 온도와 가스의 영향에 기초하여 타당성을 평가할 필요가 있다. 상세한 분석을 통하여 위험이 적은 것으로 파악될 지도 모르지만, 만약 위험이 크다면 추

가적인 방법이 필요하다.

현실성 있는 위험저감 방법은 피난연결통로의 공간을 줄임으로써 연기 속에서 이동해야 하는 거리를 줄이는 것이다. 피난연결통로는 승객들이 사고가 발생한 터널로부터 사고가 발생하지 않은 터널로 이동하기 위한 대체 경로 및 공공소방대가 사고 현장에 도달할 수 있는 추가적인 수단을 제공한다. 호주 기술기준에서는 피난연결통로에 대한 특별한 규정이 없음에도 불구하고, NFPA 130을 준용하여 피난연결통로가 매 240m 마다 설치되었다. 이들 터널 기술기준에서는 피난경로를 따라 방호할 수 있는 제연설비를 설치하도록 요구한다. 일반적으로 연기층 역류현상을 피하기 위해 종방향 제연설비가 적용된다. 종방향 제연설비는 열차의 상부 방향으로 보통 2m/s 이하의 공기유동을 발생시킨다. 이것은 화재의 하부 방향을 방호할 수 있는 상태를 유지하기에는 적합하지 않고, 단지 소규모의 화재로부터 재실자를 방호하기 위하여 연기를 희석시키기에 충분한 용량이다.

피난연결통로의 길이가 증가함에 따라, 재실자들이 화재의 하부 방향으로 안전하게 도달하고 소방대원이 접근하거나 화재로부터 물러서기에 더욱 어렵게 되었다. 그러나 철도차량의 적절한 설계를 통해서 승객들을 화재의 하부 방향으로 피난하게 만드는 열차의 전도 가능성을 줄일 수 있다.

호주에서 여객용 철도터널은 최대 규모에 이르는 화재의 하부 방향으로 방호할 수 있는 상태가 가능한 사실이 결정적으로 증명되는 경우를 제외하고 비상구와 피난연결통로 사이의 거리가 240~300m보다 긴 경우는 거의 없다. 재실자가 부상 없이 필요한 거리를 이동할 수 있도록 연기 온도가 제한되어야 한다. 넓은 피난연결통로 공간은 아마도 현재 호주의 도로 터널에 적용된 것과 비슷한 배연설비처럼 제연에 중대한 변화를 줄 수 있다. ☺