

지하철에서의 화재 안전 실험

1. 소개

최근 공공의 관심이 지하철의 화재안전에 관하여 점점 집중되어지고 있다. 몇 건의 대형 화재가 소방 구조대 활동으로는 해결할 수 없는 수준으로 상당한 위험성을 보여주었다. 종종, 소방 구조대는 지하철 공간에서 인명을 구조하기 위해 장거리를 이동해야 한다. 특히 연도 가스가 이미 방출되었을 때는 심각한 문제가 발생한다. 게다가, 이러한 가스의 확산은 화재의 현장에만 국한된 것이 아니다. 개방된 연결 공간은 가스를 다른 층이나 심지어 터널을 통해 다른 역까지도 확산시킨다.

1.1 지하철에서의 화재사고 사례

(2008년 8월 29일 쾨르도이체 자이퉁(Suddeutsche Zeitung)에서 발췌함)

금요일 에센의 러시아워 동안 50명의 승객을 태운 지하철에 화재가 발생했다. 소방서 발표에 의하면, 승무원은 연기에 질식되었고, 그 외에 다른 부상자는 없었다고 하였다. 차량의 문제를 인식한 차장은 에센 북부의 카이저 빌헬름 공원역을 떠난 후, 곧 열차를 멈추기 위한 비상브레이크를 당겼다. 4명의 승무원은 즉시 승객들을 안전한 곳으로 이동시켰다. 그 후 바로 열차의 끝부분에서 화염이 확산되었다. 연기는 지하철역 구내보다 지하터널을 향해 빠져나갔다. “독성 연기가 즉시 빠져나갈 수 있는 환경이었기 때문에 운이 좋았다.”라고 에센 대중교통협회 대변인이 말했다. 소방대는 열차 끝부분에서 화재를 진압했다. “이전에는 에센에서 이러한 지하철 화재가 발생한 적이 없었다.”라고 소방서 대변인이 말했다. 비상브레이크가 열차를 멈추었을 때, 승객들은 큰 충돌 소리를 들었다. 이 큰 충돌소리는 열차의 결함보다는 비상브레이크에 의한 것이었다. 화재 후에 지하철역사는 몇 시간동안 폐쇄되었다.

<표1. 독일 지하철 화재사고>

도시	날짜	원인	인명피해	재산피해
뮌헨	1983.9.5	기술적인 결함	7명 / 질식	22,000마르크 / 1량 완전 소실 및 지하역사 피해
뮌헨	1997.12.7	방화	없음	20,000 마르크 / 차량과 터널 구조물
베를린	2000.7.8	기차의 연결부와 차대 사이에서 화염	30명 / 화염과 연기 질식	36,000마르크 / 1량 완전 소실 1량 부분 소실
베를린	2004.8.10	기술적인 결함	3명 / 화염과 연기 질식	38,000마르크 / 지하역사 피해
에센	2008.8.29	기술적인 결함	2명 / 연기 질식	6,000마르크 / 1량 부분 소실
베를린	2009.1.16	전선 화재	없음	미상 / 1량 부분 소실

2. 구조적인 화재 예방대책

변화되는 운영 방침, 법 개정, 대중교통수단 증가의 결과에 의해서 필요시 화재 안전 규정이 조정되고 검토되어 지는 것은 반드시 필요하다. 그 중 가장 우선 되어야 할 것은 승객들 스스로 대피할 수 있는 방법이다. 이것이 어떠한 화재 안전 규정보다 우선 되어야 한다. 다시 말해, 화재 상황에서 승객은 안전하게 차량과 역을 빠져 나갈 수 있어야 한다. 또한 화재 안전 규정에서 소방구조대에 의한 인명구조 활동과 화재 진압도 고려되어야 한다.

지하철에서의 화재 예방 대책 관점은 다음과 같다.

1. 화재 발생시 승객이 스스로 대피할 수 있을 것
2. 구조대에 의하여 구조될 수 있을 것
3. 소방관이 화재 진압활동을 할 수 있도록 연기로부터 자유로운 피난로와 구조 활동로를 갖출 것

가능한 저연기층을 오래 보존하기 위하여, 계단을 외부로부터 밀폐시키거나 제연 커튼(고정식 또는 이동식)을 설치하는 것은 상당히 효과적인 것으로 입증되었다. 대다수의 전문가들이 환기팬에 의해서 자동으로 연기를 제거하는 기술을 향상시키기 위하여 노력하고 있다. 비엔나 지하철 운영방식이 그 좋은 예이다. 플랫폼마다 835,000m³/h의 용량의 수많은 환기 장치가 지하 연기 발생에 대비하여 설치되어 있다. 환기팬마다 250KW까지 전력이 공급되며, 별도의 20KV선에 의해서 비상전력이 공급된다. 오래된 지하 구조물에서 연기 배출 시스템의 설치는 기술적 어려움과 더불어 비용도 많이 필요하다.

3. 기술적인 화재 안전 대책

이러한 환경에 비추어 볼 때, 지하철에서 구조적인 화재안전 대책을 향상시키는 것이 언제나 가능한 것은 아니다. 오래된 구조물은 화재 안전 대책을 세우거나 수정할 때 매우 복잡하고, 많은 비용이 필요하기 때문에, 이에 대한 특별한 해결책이 요구된다. 따라서 지하철 화재의 경우에 소방구조대 활동만큼 승객 개인의 안전을 확실히 하는 대안이 필요하다. 위험 평가는 어떤 대책이 최대 효율성을 나타내는지 확인하는데 도움을 준다. 그 가운데 가장 시급한 대책수립으로는 화염방지와 유독가스 확산방지에 대한 것이다.

노르웨이에서 실시된 유레카(EUREKA)의 화재 시험은 일반 열차에서의 열방출율을 계산하였다. 그러나, 실제 시험과 유레카 시험이 직접적으로 비교하기에 적합하지 않다는 것이 입증되었다. 이 시험으로는 이와 관계된 위험정도를 정확하게 적용하는 것은 적합하지 않다.

따라서 대중 교통회사는 화재시 차량의 반응을 알아내기 위하여 자체적인 실험을 수행하였다. 실제 화재 실험은 Stadtwerke Munchen와 mbH Leipzig 화재예방연구소(Brandschutz Consult Ingenieurgesellschaft mbH Leipzig)와 협력한 에센 대중교통연합에 의해 실시되었다.

4. 뮌헨 지하철을 위한 계획된 예방 대책

뮌헨 대중교통연합에서 실시한 화재실험에서는 지하철에서 화재 발생 후 13분후에 약, 20MW의 열방출이 발생하였다.(발화원으로 쇼핑백, 유모차 사용) 최대 열방출은 화재 발생 15분후, 22MW였다. 최대 연기 발생량은 화재 발생 후 18~23분까지 20~40m³/s가 발생하였다. 지붕위 최대 열방출 온도는 13분후 대략 1000℃가 정도였다.

뮌헨의 전문 소방관들은 지하철에서 화재진압활동을 수행하는데 평균 10분이 필요하다. 소방관들이 열차의 지붕 위, 내부에서 화재를 식별하기 전에 추가로 10분이 더 필요하다. 따라서 이 시간동안 발생된 화재나 유독가스의 확산을 예방하거나 최소화하는 해결책을 찾는 것이 필요하다.

위험 평가 연구는 지하철 내부나 열차 위에서 발생 가능한 화재 상황들을 찾아내고, 더불어 화재 안전 기준을 발전시키기 위하여 수행되었다. 가능한 화재 시나리오들은 다음의 4가지로 규정하기로 한다.

- 열차의 차대 부분에서의 화재 발생(전기적인 전환 시스템)
- 무인 운전 장치의 기술적인 결함에 의한 화재발생
(전기적인 원인, 전선 과열)
- 방화(공공기물파손 또는 방해행위)에 의한 객차에서의 화재 발생
- 가연성 물질이 결합된 디스크브레이크의 과열에 의한 화재 발생

화재 실험을 위한 기술 감독관은 실제 화재 실험 조건은 화재 감지와 진화시스템의 기능을 갖추기 위하여 지하철에서 수행하고, 독립된 전문가에 의해서 검사받고 공인되어야 한다고 요구했다. 뮌헨 공공연합은 독립된 감사관으로 TUV RAIL Sud를 선정하였다. 이 실험에 참가한 회사는 TUV RAIL Sud와 협력하여 필요한 실험을 수행하고 특별한 화재 감지와 진화시스템을 개발했다.

실험의 요구 사항 중 다음 사항은 반드시 포함해야 한다.

- (1) 화재 발생의 빠른 감지(객차에서 감지시간 1분 이내, ARGE기준에 의하여 기술 지역에서 화재 감지 시간 2분 이내)

(2) 화재 감지가 반드시 필요한 지역

- 객차
- 유인, 무인 운전 객차
- 화재 위험이 있는 차대의 전자 장치
- 기계적인 디스크 브레이크

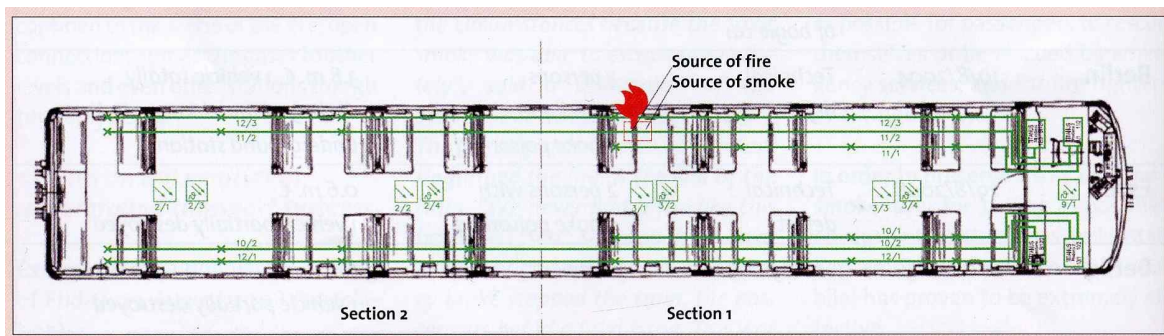
(3) 화재감지, 확산방지를 위하여 다음의 사항은 반드시 포함되어야 한다.

- 스프링클러 또는 물분무장치가 설치된 객차와 운전실
- 유독 가스를 구별할 수 있는 시스템을 가진 실험용 컨테이너

객차에서의 확산방지는 최소한 10분 동안 지속되어야 한다. 실험용 컨테이너의 감지 시스템은 반드시 완벽하게 화재를 구별할 수 있어야 한다.

4.1 객차에서의 화재 감지

객차는 화재감지 및 진압 구역으로 나누어진다. 천정의 좌우측 흡입파이프로 구성된 연기 흡입 시스템은 연기를 배출하기 위하여 설치되었다. 진압 시스템을 활성화 하기 위해서는 이 설비에 2개의 연기감지기가 필요하다. 뿐만 아니라, 종전 방식의 연기감지기도 기존의 반응 형태를 기록하기 위하여 천장에 설치하였다. 통제와 표시 장비도 흡입시스템과 감지기의 반응을 기록하기 위하여 객차에 설치되었다. 모든 반응이 시험결과분석을 위하여 통제와 표시 장비에 기록되었다.



<그림 1. 지하철에 설치된 화재 탐지 시스템의 보기>

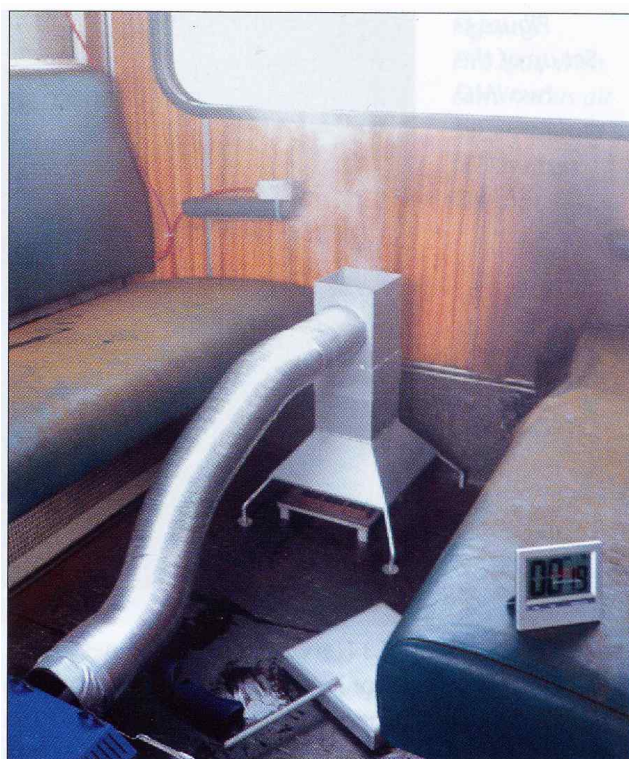
화재 감지기는 열차에서 화재 감지를 위한 TUV Nord와 TUV SUD 철도에 의해서 고안된 참고자료로 만들어진 ARGE 가이드라인의 특성과 비슷하게 반응하였다. 실

험은 화재발생 초기에 정확한 탐지기가 설치된 연기 흡입 장치에 의해서 수행될 수 있도록 고안되었다. 게다가 화재 실험은 정지된 열차에서 뿐 아니라 80km/h까지 움직이는 열차에서 창문을 50%정도 개방된 상태에서 실시되었다. 탐지 장비의 행동 반응은 크게 변하지 않았다.

결론 : 이 실험으로 인해 연기 흡입 시스템이 열차에서 화재 감지를 위하여 ARGE 가이드라인의 요구조건에 부합하게 연기와 화재를 탐지한다는 것을 완벽하게 입증하였다. 또한 연기 흡입 시스템은 이동 방향에 관계없이 구획에 의하여 화재 확산을 막을 수 있다.

4.2 컨테이너에서의 화재 식별

실험용 컨테이너의 기술적인 부품은 모든 전자 스위치와 인버터를 포함하고 있어서 특별한 잠재적 위험을 가지고 있다. 컨테이너는 잘 밀봉되어 있어서 가스 소화약제의 사용이 가능하다. 소화약제 필요량은 Vds에 의하여 만들어진 비활성 가스 소화시스템을 위한 가이드라인에 의해 계산된다. 실험용 컨테이너에서의 화재를 탐지하기 위하여, 비활성 가스 탐지시스템으로 질소 소화약제를 사용한다. 뮌헨 공공연합의 요구조건에 의하여, 실험용 컨테이너에는 두 개의 독립된 감지시스템이 설치되었다.



<그림 2. 화재 안전을 위한 ARGE 가이드라인에 일치하는 객실 내 연기 형태>

감지시스템은 열과 연기가 복합적으로 사용된 2개의 감지기에 의해서 동작된다. 열연기 복합 감지기는 연기 감지기로써, 130℃의 온도가 작동시키는 선형 열감지기로 설치되어 있다. 실험용 컨테이너는 완벽하게 밀봉되어, 적합한 감지 기능을 달성할 수 있고, 요구된 10분의 지연시간에 부응할 수 있다.

결론 : 비활성 가스 소화시스템은 실험용 컨테이너의 전자 스위치시스템에 최적의 보호막을 제공한다. 스위치 동작은 화재와 비슷한 현상을 만듦으로써 오동작에 대한 예방책이 필요하다. 따라서 비활성 가스 소화시스템은 반드시 2개의 감지기 또는 2개의 독립된 라인에 의하여 항상 동작하여야 한다. 열연기 복합감지기는 매우 효율적인 것으로 입증되었다.

4-3 물분무 기술을 이용한 객차에서의 화재 진압

이 실험의 목적은 객차에 설치된 물분무시스템의 소화활동의 특성을 찾기 위한 것이다. 예비 실험에서 뮌헨 교통연합은 “차량 절반에서의 화재 탐지”의 조건을 요구하고 있고, 이렇게 설치된 채로 화재 실험이 이루어져야 한다고 했다. 예비 실험은 10분 동안 화재진압시 최적의 물 부피가 75리터임을 결정하는데 도움을 주었다. 이 수치는 1m²당 0.11~0.12L/min의 물을 방출하는 것이 적당하다는 결론을 도출하는데 도움을 주었다. 결론적으로, 예비 실험 결과는 화재 진압 시스템의 기능성(정확히 말하면, 객차 내에서의 물분무시스템의 안정성)이 다음의 조건에 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다.

- (1) 양 방향에서 최대 80km/h의 최대 속도
- (2) 창문이 닫혀있거나, 완벽하게 열려있거나, 부분적으로 열려있을 경우
- (3) 겨울 또는 여름 시즌 동안 공조시스템의 작동

화재 진압시스템의 기능적인 구조

- (1) 10분동안 75리터의 물의 공급
- (2) 화재 진압 시스템은 초기 화재 발생 1분후에 수동으로 작동된다.
- (3) 객차의 절반 가량에 4개의 물분무 노즐이 노즐축에 대하여 45도 분사각도를 가지고 설치되어 있다.(45도의 분사각도는 분무된 물이 특히 열차가 이동 중에 창문이 열려있더라도 영향을 받지 않게 해준다.)

화재 하중 : 150KW의 화재 하중에 해당하는 2개의 IMO쿠션과 1개의 UIC쿠션을 점화원으로 한다.

화재하중은 150KW의 에너지 방출에 상응한다. 이것은 쿠션의 표면이 액체 화재와 비슷하게 발생하기 때문에 실험을 통하여 변함이 없는 것으로 입증되었다. 쿠션 화

재하중은 쿠션 표면의 50%는 의자 밑에 있다. 따라서, 화재하중의 50%만 직접적으로 물분무에 노출되어있다. UIC쿠션의 점화(실험의 시작) 후에 IMO쿠션의 윗부분은 안정된 화염에 의하여 불이 붙게 된다. 60초 후에, IMO쿠션의 전체 표면에 완전히 불이 붙게 되면서, 150KW의 열방출에 도달하게 된다. 일단 화재 탐지 시스템이 작동하게 되면(UIC쿠션 점화 후에 60초), 물분무가 객차 안에 이루어진다. 스프레이 노즐의 방출압력은 6~7bar 정도로 측정된다. 물분무가 있는 다른 구역은 실험을 통하여 안정적으로 남아있게 된다. 각각 구역은 전체 중간 부분(출입문 구역)에서 끝부분으로 뺏어나가게 된다. 실험은 최악의 화재 시나리오로 가정했다. 실험이 진행되는 동안 연기 생성은 사람에게 어떠한 피해도 야기하지 않았다. 그리하여 화재 감지 시스템은 다음역에 곧 도착한다는 가정(최대 2분)이 주어지더라도 승객의 안전을 확실히 보장해 준다. 그리고 승객들은 물분무가 방출되지 않는 열차 부분에서 안전하게 내릴 수 있다.



<그림 3. 쿠션의 화재 실험(UIC 쿠션 점화 후 IMO 쿠션 연소)>

10분 후에, 화재 감지 시스템은 작동을 멈추고 화재가 진압되었음을 발견할 수 있을 것이다. 일부 작은 화염은 잠시 후에 자동으로 꺼질 것이다. 또 10분이 지난 후에는 더 이상 재발화되거나 불꽃 점화는 찾을 수 없을 것이다. 화재로 인한 의자 근처에서의 피해는 최소화되고, 인접한 지역의 피해는 거의 찾아볼 수 없을 것이다.

5. 결론

화재 실험은 다음의 사실을 입증해준다.

(1) 화재 감지 시스템은 신뢰할 수 있는 화재진압과 소화활동을 10분 내에 가능하게 한다.

(2) 화염의 재발화 또는 위험한 독성 가스의 형성을 추가 10분 후에 발생하지 않게 한다.

(3) 화재 감지 시스템이 설치되었으나 동작하지 않는 다른 객차에서는 연기나 독성 가스의 영향을 받지 않기 때문에, 화재가 발생하지 않은 다른 객차에서는 개인의 안전이 확실히 보장된다. 이것은 가스 분석에 의해서도 입증되었다. 가스 분석은 또한 개인의 안전이 화재 발생 직후 환경에서 시야가 물분무에 의해서 방해받거나 승객이 물방울에 젖는 경우를 제외하고는 위태롭지 않다는 것을 보여준다.

이 기사는 지하철 내에서 연기방출시스템, 계단의 방연 밀폐, 제연 커튼 등 기술적인 보완책과 같은 화재 안전 대책 외에 기술적인 안전장치가 보완 대책으로 설치되어야 한다는 것을 설명해주고 있다. 안전이 선행되어야 한다는 결론에 앞서 이를 위한 안전설비와 비용 모두를 고려한 위험 평가가 반드시 이루어져야 한다.

출처 : Vds JOURNAL FOR SAFETY + SECURITY(APRIL 2010)

- Fire Safety in underground rail vehicles(Author : Christoph Kainz)

번역 : 중앙지부 조희근