

철도차량용 지능형 복합식 화재감지기 개발



| 박 동 선 |
(주)플러스티 대표이사

I. 서론

우리나라 자동차 산업의 발전과 국민 소득의 증가와 함께 개인과 가정에서는 자가용을 많이 이용하고 있지만, 철도는 대도시에서의 대중교통 수단으로써, 산업용 화물 운송 수단으로써 여전히 가장 많은 수송을 담당하고 있다. 철도산업은, 그 기본 특성인 대량수송성, 정시성, 저공해성과 함께 최근 고속철도나 경전철에서 추구하고 있는 쾌적성까지 합쳐, 21세기 육상교통 및 육상교통 산업의 주력으로 계속 성장할 전망이다.

수년 전 대구지하철 참사는, 지하철이라는 도시 내 철도 운송 수단에 크게 의지하고 있으면서도, 양적인 팽창에만 관심을 가졌던 우리나라의 안전 불감증을 국제적으로 확인시킨 비극적인 사건이었다. 이 후에, 의자와 바닥재를 난연재로 교체하는 작업이 진행되었으며, 철도차량에는 화재감지기와 경보 시스템이 설치되었다.

그러나 아직도 여전히, '승객이 탑승하고 있는 철도 차량 내부에서 화재가 발생하면 승객이 소화기를 이용하여 불을 끄면 되지 않느냐?' 하는 의견을 피력하는 관계자들을 대할 경우가 있다. 상식적으로 생각한다면 옳은 말씀이다. 그런데 대구 지하철 참사는 왜 발생한 것일까? 우리가 간과하는 것이 있기 때문이다. 화재가 발생하면 통상적으로는 누군가가 소화기를 이용하여 불을 끌 것이지만, 아주 특별한 경우에는 상식적으로 이해가 되지 않는 방향으로 사건이 진행될 가능성이 있음을 간과한 것이다. 즉 최악의 경우에 대한 대책이 없었던 것이다. 그 비극적인 예가 우리

가 경험한 대구 지하철 참사이다.

대구 지하철 참사와 같은 인위적인 방화에 대응하는 시스템은 크게 수동적인 방법과 능동적인 방법으로 나누어 볼 수 있다. 수동적인 방법은 의자, 바닥재와 같은 내장재를 난연성으로 대체하는 것이며, 능동적인 방법으로는 화재의 발생을 조기에 감지하고 자동으로 또는 인력이 적극적으로 진화에 나서는 활동을 들 수 있다.

능동적 방법의 첫걸음이 화재의 자동감지 기능이다. 특히 화재감지 기능 중에서도 화재조기경보시스템은 매우 중요한 역할을 담당한다. 철도운송시스템은 자동화, 무인화로 발전되고 있기 때문에 운용 차량에는 필요한 최소한의 인력만이 배치된다. 또한 경량전철에는 운용 인력이 배치되지 않을 수도 있다. 따라서 향후 객차, 화차, 및 전동차 등에서의 화재는 한순간에 엄청난 인명 및 재산상의 손실을 야기하는 재앙으로 다가올 수도 있다. 고속철 및 도시철도 등에 적합한 화재 조기경보시스템의 개발, 관련법규의 제정, 관리 및 유지를 위한 인적, 물적인 투자가 시급히 요구되는 시점이다.

II. 철도차량용 화재감지 성능 조건

'철도차량에서 발생 가능한 화재는 어떠한 형태가 될 것인가?' 이 질문은 본 프로젝트의 방향을 정하고 구체적인 세부 기술에도 직접적으로 영향을 미친다. 또한 개발 과정 중, 화재감지기의 실증 성능시험과도 직접적으로 연

결된다. 본 연구에서는, 발생 가능한 시나리오를 대구 지하철과 최근 서울 구로(오류)역에서 발생한 방화에 의한 화재 발생 사례로부터 도출하는 것이 가장 적절한 것으로 판단하였다. 왜냐하면 방화에 의한 화재는 급속연소로 이어지면서 매우 짧은 시간에 대형 참사로 이어질 수 있음을 경험했기 때문이다. 이러한 유형의 화재에 대응하기 위해서는 신속 정확하게 화재 경보를 발생시킬 수 있어야 하며 이를 바탕으로 신속한 화재 진압을 수행하여야 하기 때문이다. 본 연구에서는 다음과 같은 기준을 정하였다.

1. 첫째, 본 연구의 화재감지기는, 승객이 탑승하는 철도 차량(객차) 내부에서 발생 가능한 방화에 의한 급속 연소 화재의 신속한 감지를 목표로 한다.
 - 1) 방화에는 신나, 휘발유, 알콜(메탄올), 노말 헵탄 등의 연료가 단독으로, 또는 혼합물로서 이용될 수 있으며, 그 연료의 양은 100cc, 500cc, 1리터, 2리터가 될 수 있으며 이에 대응하는 화재감지 성능이 확보되어야 한다.
 - 2) 방화에는 먼, 부직포, 나일론, 합성섬유 등의 섬유가 단독으로, 또는 상기의 연료와 혼합으로 이용될 수 있으며, 방화에 사용되는 섬유의 양은 개인이 휴대용 가방 또는 배낭에 담아서 운반 가능한 압축되지 않는 상태에서 1리터, 5리터의 부피를 갖는다. 이에 대응하는 화재감지 성능이 확보되어야 한다.
 - 3) 방화에 의한 점화는 객차 내부 바닥면의 임의의 한 곳, 또는 여러 곳에서 동시에 발생할 수 있으며 이에 대응하는 화재감지 성능이 확보되어야 한다.
 - 4) 방화에 의한 점화는, 짐 또는 가방을 거치할 수 있는 객차 내부의 선반에서 발생할 수 있으며 이에 대응하는 화재감지 성능이 확보되어야 한다.
 - 5) 방화에 대응하는 화재 감지 속도는, 차량의 바닥면과 좌석에서 점화가 될 경우에는 5초 이내에 화재를 감지하여야 한다.
 - 6) 방화에 대응하는 화재 감지 속도는, 화물 선반에서 점화가 될 경우에는, 10초 이내에 화재를 감지하여야 한다.
2. 화재감지 성능에 추가로 요구되는 사양은 다음과 같다.
 - 1) 화재감지기는 영상 10도씨에서 60도씨 사이의 환경

에서 정상적으로 작동하여야 하며 온도에 의해서 오작동하지 않아야 한다.

- 2) 화재감지기는 승객이 탑승하는 철도차량 내부의 먼지, 입사된 태양광, 실내 조명, 공조에 의한 바람 등의 환경에 의해서 오작동하지 않아야 한다.
- 3) 화재감지기는 승객이 탑승하는 철도차량 내부에서 장기간 사용되어도 감도의 변화가 10% 미만이어야 한다.

본 연구에서 정한 상기 화재감지기 성능 기준은, 철도 차량에서 발생 가능한 화재 시나리오를 상정하고 그 결과물로서 정해진 것이지만, 대부분의 화재 전문가에게 조차도 다소 생소할 수 있으며 다양한 이견이 존재할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 화재 감지가 오작동 없이, 최대한 빨리 화재를 감지하여, 신속히 기관사에게 통보하는 성능을 제공하는 것을 제1의 목표로 하였다. 화재감지 성능이 상기의 많은 기준들을 만족한다면 화재를 조기에 감지 및 진압하는 것이 가능하고, 또한 승객들의 화재에 대한 반응과는 상관없이 기관사에 의한 화재 진압이 성공적으로 수행될 수 있을 것으로 사료된다.

III. 성능 평가 실험

본 연구에서는 상기의 조건을 만족하는 화재감지기로써, 열, 연기, 및 불꽃을 동시에 감지할 수 있는 일체형 화재감지기를 설계 및 제작하였다. 온도는 0.1℃의 정밀도를 갖도록 측온저항체를 이용하여 개발하였다. 측온저항체는 감지기의 외부로 돌출되어 외부 온도에 빠르게 반응할 수 있도록 설계하였다. 연기농도는 0.1% obs/m 단위로 측정할 수 있는 광전식을 개발하였다. 먼지나 외부 환경을 자동으로 보정할 수 있도록 감광식을 적용하였다. 불꽃의 강도는 3단계(주의, 경보, 화재)로 구분하여 적용할 수 있도록 하였으며, 자외선 및 적외선 센서가 적용되었다. 감지기는 외부로 유·무선 디지털 통신이 가능하고 수신기와 다양한 정보를 주고 받을 수 있도록 개발되었다. 화재감지기의 신호는 3단계(주의, 경보, 화재)로 수신기로 전송할 수

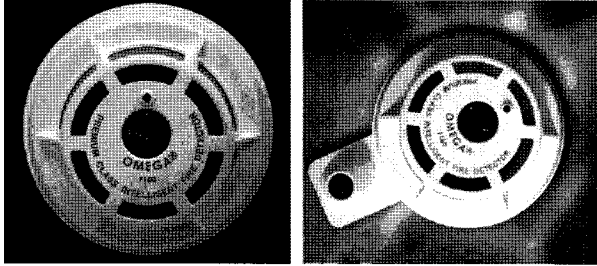


그림 1. 지능형 복합식 화재감지기

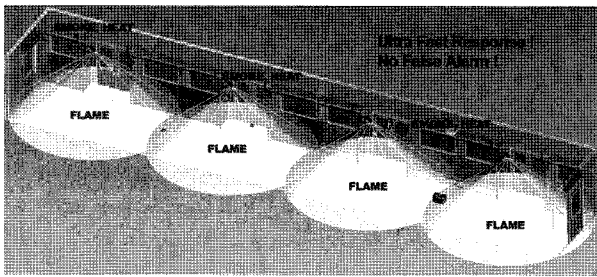


그림 2. 지하철 차량에서의 화재 감시 영역

있으며, 또한 수신기에서 요구할 경우에는 온도, 연기농도, 및 불꽃강도의 정확한 측정값을 디지털 신호로 전송할 수 있도록 하였다. 이러한 성능을 갖는 지능형 화재감지기의 실물 사진이 [그림 1]에 제시되어 있다. [그림 1]의 오른쪽 사진은 디지털 카메라가 결합된 형태의 실물이다. 지능형 화재감지기로부터 화재 발생 신호가 수신기로 전송될 경우, 수신기에서는 화재 신호를 발생한 감지기로부터 화재 영상을 전송 받을 수 있다. 따라서 기관사는 오작동인지 실제 화재 발생 상황인지 현장에 출동하지 않고도 시각적으로 즉시 확인이 가능하다.

본 연구에서 개발된 지능형 복합식 화재감지기의 기본 성능을 검증하기 위해서, [그림 2]에서 [그림 6]과 같이 한국철도기술연구원의 철도차량에서 다양한 실물 화재 시험을 수행하였다.

[그림 2]에는 중전철 차량의 길이 방향 중심선을 따라서 설치된 4대의 지능형 복합식 화재감지기가 제시되어 있다. 바닥면과 좌석에서의 방화는 불꽃 감지를 통해서 점화 후 2초 이내(목표는 5초 이내)에 감지하는 것이 가능하였다. 또한 태양광선과 할로겐 전등과 같은 비화재원에 대해서는 반응하지 않는 것도 검증되었다.

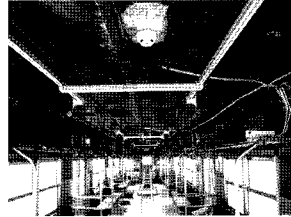


그림 3. 지하철 객차 내부 설치



그림 4. 연기감지 실험



그림 5. 불꽃감지 실험 (의자, 신나)



그림 6. 화재감지 실험 (선반, 신나)

대구지하철과 서울 구로(오류)역에서와 유사한 형태의 방화는 점화 후 2초 이내에 기관사에게 통보될 수 있으며 기관사실의 수신기 화면을 통해서 현장의 화재 영상을 실시간으로 확인할 수 있도록 개발되었다.

중전철 차량에서의 방화는 차량 내부의 바닥면과 좌석면에서만 발생할 수 있는 것이 아니다. 화재에 의한 혼란을 극대화시키기 위한 악의적인 목적을 위하여 선반에 인화성 연료에 젖은 의류와 같은 화물에 점화시키는 경우를 가정할 수 있다. 이 경우 방화에 의한 초기 화원은 바닥면과 좌석을 감시하는 불꽃감지기의 감시 각도에는 벗어나 있기 때문에 5초 이내에 화재를 감시할 수 있는 지 여부는 반드시 실험적으로 검증되어야 하는 중요한 부분이었다. 이를 위하여 [그림 6]과 같이 실제로 신나를 적신 신문지와 의류 등을 선반에 설치한 후 점화시켰다. 점화는 화재감지기로부터 가장 가까운 선반과 가장 먼 선반에서 각각 실시하였다. 어떠한 경우라도 지능형 복합식 화재감지기에서는 급격한 온도 상승이 5초 이내에 검출되었다. 다만 한 가지 문제는, 이 때의 방화 초기 화원은 디지털 카메라의 감시 각도에서 벗어나 있기 때문에 기관사실 수신기 화면을 통한 실시간 영상 확인 과정에서 화재의 시각적인 확인이 신속히 이루어지지 않을 수도 있다. 따라서 이러한 형태의 방화에 대비하기 위해서는, 선반에서의 방화에 따른 화재 발

생 지역 영상 특성을 기관사에게 숙지시킬 필요가 있다. 기관사는 승객들의 움직임을 통해서 화재 발생 여부를 간접적으로 확인할 수 있다.

중전철 실물 화재 실험에서 연기감지 성능을 검증하기 위해서, ISO나 UL에서 규정하는 화재실험실과 유사한 방법을 적용하였다. 연기발생기(Smoke Generator)와 연기를 상승시키기 위한 히터(Heater)를 사용하여 연기의 전파가 이루어지도록 하였다. 또한 천정에 설치된 화재감지기 4대 각각으로부터 30cm 이내의 위치에 감광식 연기농도측정기(Optical Smoke Meter) 4대를 개별적으로 설치하여 실제로 화재감지기에 유입되는 연기의 농도를 동시에 측정하였다. 실험 결과 연기농도 측정기에서 측정되는 연기 농도는 10초 이내에 화재감지기에서도 동일한 농도값으로 검출되었다.

따라서, 중전철 차량에서 발생 가능한 어떠한 형태의 방

화에 대해서도 목적인 바와 같이 신속한 화재의 감지가 가능하였다. 다만, 실제 대도시에서 운행 중인 차량은 상기 실험에 사용한 실험 차량과 매우 다른 조건이다. 실제 운행 중인 차량에서는 시간대별로, 계절별로 상당히 다른 공조 조건임을 알아야 한다. 그러나 이러한 다양한 실제 환경에 대한 실물 화재 실험은 모사가 불가능하다. 따라서 본 연구의 결과물은 승객이 없으며, 정차된, 공조가 되지 않는 차량 환경에서 검증되었음을 상기해야 한다.

본 연구에서 개발된 지능형 복합식 화재감지기에 대한 철도 차량의 다양한 환경에서의 오작동 여부와 환경에 의한 영향을 평가하기 위해서, 시험 운행 중인 [그림 7] 및 [그림 8]의 경량 전철 차량에서의 환경 실험을 2008년 하반기부터 현재까지 수행하고 있다. 이 실험은 차량 내부의 온도, 먼지, 입사된 태양광, 실내 조명, 공조에 의한 바람 등에 의한 영향을 평가하기 위함이다. 그리고 주기적인 감도 시

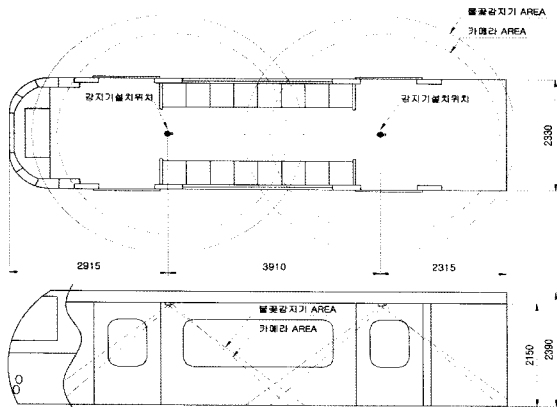


그림 7. 경량 전철 차량에서의 화재 감시 영역

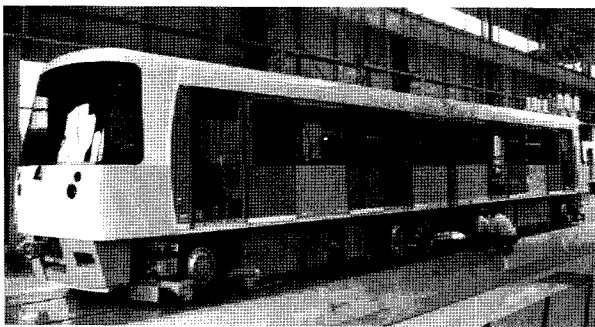


그림 8. 경량 전철 차량에서의 환경 평가 실험

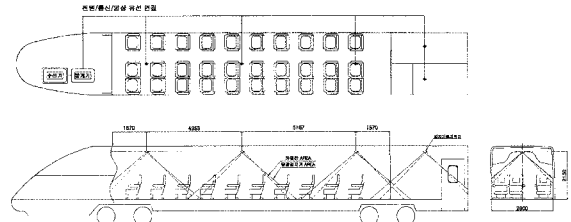


그림 9. 더블 데크 차량에서의 화재감시 영역

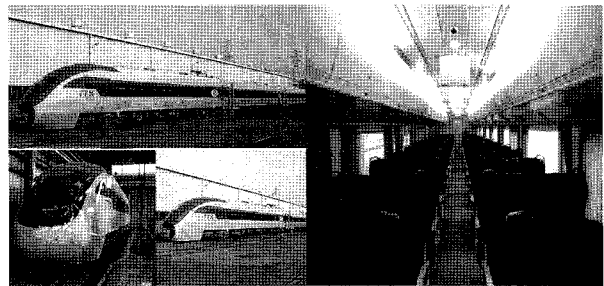


그림 10. 더블 데크 차량 외관 및 객차 내부



그림 11. 더블 데크 차량 내부 감지기 설치 장소 (객차내부/부속실/화장실)

험을 통해서 환경에 의해서 어떠한 영향을 받는 지 여부도 평가한다.

[그림 7]과 같이 경량 전철의 길이는 중전철 차량의 1/2 정도로써, 2대의 화재감지기를 이용해서 1량의 차량 전체를 감시할 수 있다. 현재까지 수행된 연구결과는 외부 온도에 의해서 연기 감지 성능이 영향을 받는다는 것이 확인되었으며 여타의 다른 영향은 나타나지 않았다. 현재 외부 온도에 따른 영향을 제거하기 위해서 연구를 수행하고 있다.

경량 전철과 유사하게 [그림 9]에서 [그림 11]과 같이 틸팅 차량에서도 환경 평가를 수행하고 있다. 틸팅 차량에서는 3대의 화재감지기가 좌석이 있는 차량 내부를 감시하고 부속실과 화장실에 추가로 화재감지기가 1대씩 설치되어 있다.

대도시 전철 차량에는 화장실이 없으나, 틸팅 차량에서는 화장실이 각각의 차량에 설치되어 있다. 화장실 내에서의 방화는 충분히 발생 가능한 것으로 판단된다. 특히 화장실은 타인의 눈길에서 벗어나 있기 때문에 방화법이 천정에 설치된 화재감지기를 제거하고, 급속 연소가 가능한 방화를 일으킬 경우에 대비해야 한다. 지능형 화재감지기와 기관사실의 수신기는 쌍방향 통신이 가능하고 통신 부하가 많지 않기 때문에 실시간으로 통신 가능 여부를 확인할 수 있다. 따라서 악의적으로 화재감지기가 제거될 경우에는, 기관사실의 수신기가 특정 화재감지기와 통신이 단절되었음을 알리는 경고를 표시하고 이 경우 기관사는 신속히 대응하도록 운용 수칙이 숙지되어야 한다. 현재 틸팅 차량에서의 환경 영향 평가 관련 연구가 진행되고 있다.

[그림 12]에서 [그림 14]에는 기관사실에 설치된 수신기의 주요 화면이 제시되어 있다. 각 차량에 설치된 무선 중계기에 대해서는 본 기고에서 언급하지 않는다.

본 기고의 그림에는 표시되어 있지 않는, 종합 제어 화면에서는 경고 화면, 소화 화면 등과 같은 특정 기능을 수행하는 화면을 선택할 수 있다. 화재가 발생하고 기관사실에서 원격으로 화재 진압을 하고자 할 때는 수신기에 연결된 자동 소화장치를 구동하여 1차적인 화재 제어를 할 수 있도록 개발되었다. [그림 12]의 경고 설정 화면에서는 3단계 초기 경보를 위한 매 단계별 화재 경보에 해당하는 온도, 연기농도, 불꽃 강도 등을 설정할 수 있도록 하였다. 그러

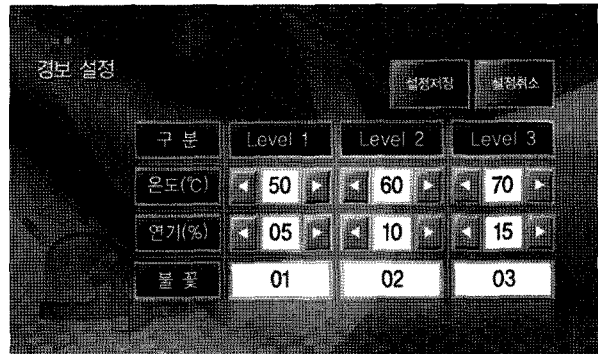


그림 12. 경고 설정 화면

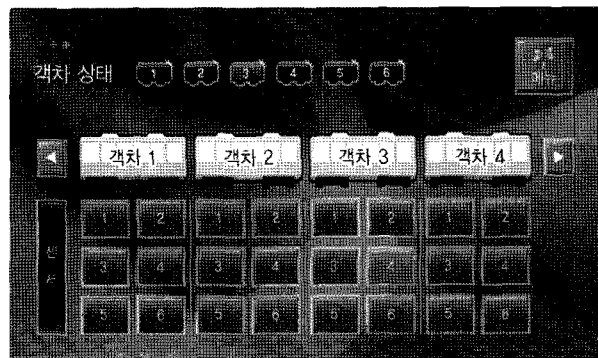


그림 13. 화재 발생 차량 지시 화면



그림 14. 화재 발생 지역 개별 모니터링 화면

나 이 화면은 기관사가 설정하는 것이 아니라 전문가에 의해서 설정되어야 할 것이다. 지능형 화재감지기와 수신기는 다양한 형태의 철도차량에 적용하는 것이 목적이므로 이러한 다양한 환경에 적합하도록 실험적인 검증을 통하여 3단계 초기경보가 가능하도록 단계별 감도를 설정하여야 할 것이다.

화재가 발생하면 [그림 13] 및 [그림 14]의 두 가지 수신기 화면이 기관사에게 제공된다. [그림 13]의 수신기 화면에서는 화재가 발생한 차량과 그 차량에서 화재를 감지한 화재 감지기의 위치가 표시된다. [그림 14]의 수신기 화면에서는 화재가 감지된 차량 내부의 화재 특성을 더 상세히 파악할 수 있다. 현재의 화재 경보가 3단계(주의, 경보, 화재) 경보 중에서 어느 단계인지, 화재 특성(열, 연기, 불꽃)은 무엇인지와 그 지역의 실시간 동영상이 제공된다. 이 외에도 추가적인 주요 화면이 기관사에게 제공되지만 본 기고에서는 생략하고자 한다.

본 연구에서 개발된 수신기는 ARM9 CPU를 적용하고 리눅스를 OS로 채택하였다. 자체 메모리는 100MB 이상 여유가 있기 때문에 화재 발생 시의 데이터와 동영상을 자체

적으로 기록 및 저장할 수 있다.

IV. 맺는 말

국토해양부의 철도종합안전기술개발사업을 통해서, 한국철도기술연구원, (주)이플러스터, (주)다담마이크로가 철도차량용 지능형 복합식 화재감지기와 첨단 수신기를 개발하고 있으며, 그 결과물은 우리나라 철도 기술의 위상을 한 단계 높이는 계기가 될 것이다. 현재 경량 전철과 텀링 차량에서 장기간에 걸쳐서 성능 평가 연구를 수행하고 있으므로 가까운 장래에 좋은 결과물이 발생할 것으로 기대된다. 