

B-02

도로터널 화재의 열감지기 동작 온도 비교에 관한 연구

노형기, 정국삼*, 송영호*,조경섭**
신화전자(주), 충북대학교*, 신화전자(주)**

A Study on Comparison of Heat Detector Detection Temperatures for Road Tunnel Fires

Hyeongki Roh, Kooksam Chung*, Youngho Song*, Kyeongseob Cho**
Shinwha Electronics, *Chungbuk National University, **Shinwha Electronics

1. 서 론

국가 경제의 발전과 동시에 국민의 생활 형태의 변경은 물류 수송량과 교통량을 크게 증가 시켰으며, 지역 간의 빠르고 경제적인 운송 수단의 필요성에 의하여 국가 기간산업인 사회간접자본을 확충하기 위하여 국토를 격자형으로 연결하는 고속도로, 국도 및 지방도로 건설이 활기차게 이루어지고 있으며, 산지의 비율이 70% 이상을 차지하고 있는 좁은 국토와 높은 인구 밀도를 가진 우리나라는 국토의 효율적인 활용과 지형적인 특성 상 많은 터널이 건설되고 장대화가 되어 가고 있다.

터널 화재는 매년 몇 건씩 발생하고 있으며, 대부분의 경우 사고 규모가 작고 주로 최초 발화원인 차량 한 대에 국한되어 화재가 발생하지만, 간혹 주변의 다른 차량으로 전파되어 화재가 확산되어 많은 사상자가 발생하기도 한다. 1999년 몽블랑(Mont Blanc)터널 화재에서는 39명이 사망하고, 40여대의 차량이 전소되었고, 2년 9개월 동안 터널을 폐쇄하여 발생한 경제적인 피해액은 총 3억 9천 2백만 유로에 달하는 것으로 보고가 되었다. 2001년 스위스 고타드(St. Gotthard)터널 화재에서는 11명이 사망하고 23대의 차량이 전소 되었다. 우리나라에서도 40여명의 부상자가 발생한 2003년 홍지문 터널 화재 사고, 많은 재산 피해를 일으킨 2005년 구마고속도로 달성2 터널 화재사고 이후 대규모 지하 공간과 터널 등에서 화재 발생 시 화재의 신속한 감지 및 그에 따른 시설 사용자의 안전한 피난과 적절한 사고 대처에 대한 필요성이 사회적 관심으로 대두되었다.

도로 터널은 화재가 발생 할 경우 터널 내부는 통로가 한정되고 고립된 반 밀폐 공간 특성을 가지기 때문에 화재로부터 발생하는 연기와 열은 일반 도로가 갖는 위험 요소보다 더 많은 위험 요소를 내포하고 있다. 터널 내에 화재가 발생하면 화재 시 발생하는 열과 연기로 인하여 가시거리 감소, 독성가스의 확산 및 급격한 온도 상승, 산소 농도가 감소하여 통행자의 안전에 큰 위험이 된다. 또한 터널에서의 화재는 통행자의 인명뿐만 아니라 구조물, 각종 설비 및 차량의 손상을 일으키며, 결과적으로 오랜 시간 동안 통행 불능 상태로 되어 이로 인한 경제적인 피해가 아주 큰 것으로 보고되고 있다.

따라서 본 연구는 화재 발생 시 반 밀폐된 공간적인 특성으로 대형 참사를 일으킬 수 있는 도로 터널의 화재감지시스템과 화재시뮬레이션의 온도 센서의 온도 비교를

통한 적정성을 판단하는데 목적이 있으며, A터널에 광케이블을 이용하여 온도 변화를 측정하는 광센서 아날로그 화재감지시스템을 설치하여 가연물을 연소시켜 화재감지기가 시간에 따른 온도 감지 변화를 실험한 결과와 화재모델링 프로그램인 FDS(Fire Dynamics Simulator)를 이용하여 실 화재 실험과 동일 조건으로 온도변화 및 시간을 확인하는 방법으로 비교, 분석하였다.

2. 이론적 배경

차동식분포형감지기는 주위온도가 일정 상승률 이상이 되는 경우에 동작하는 감지기로써 감도시험은 공기관식의 감도시험법에 의하여 시험을 진행하며, 종별로 Table 1의 공기관 자체의 온도 상승률 t_1 및 t_2 의 값에 따라 Table 1의 시험에 적합하여야 하며, 공기관 중 검출부로부터 가장 먼 거리에 있는 20 m의 부분이 t_1 °C/min의 직선적인 비율로 상승하는 경우 1분 이내에 작동하여야 한다.

Table 1. Sensitivity test Standard of rate-of-rise detector

| 종 별 | t_1 | t_2 |
|-----|-------|-------|
| 1 종 | 7.5 | 1 |
| 2 종 | 15 | 2 |
| 3 종 | 30 | 4 |

정온식감지기는 주위온도가 일정 온도에 도달하는 경우 동작하는 감지기로써 공칭 작동온도는 60°C에서 150°C까지의 범위로 하되, 60°C에서 80°C인 것은 5°C 간격으로, 80°C 이상인 것은 10°C 간격으로 하며, 작동시험은 공칭작동온도의 125퍼센트가 되는 온도이고 풍속이 1m/s인 수직 기류에 투입하는 경우 Table 2에 정하는 시간 이내에 작동하여야 한다.

Table 2. Sensitivity test Standard of fixed temperature detector

| 종별 | 실 온 | |
|---|-----------------|---|
| | 0 °C | 0 °C 이외 |
| 특종 | 40초 이하 | 실온 Θ_r (°C)일 때의 작동시간 t (초)는 다음 식에 의하여 산출 한다. $t = \frac{t_0 \log_{10} \left(1 + \frac{\Theta - \Theta_r}{\delta} \right)}{\log_{10} \left(1 + \frac{\Theta}{\delta} \right)}$ |
| 1종 | 40초 초과 120초이하 | |
| 2종 | 120초 초과 300초 이하 | |
| (주) t_0 : 실온이 0 °C인 경우의 작동시간(초) Θ : 공칭작동온도(°C), δ : 공칭작동온도와 작동시험온도와의 차 | | |

3. 실험방법

광케이블 아날로그 화재감지기의 온도 변화 특성을 연구하기 위하여 건설교통부 "도로터널 방재시설 설치지침"의 자동화재탐지설비의 기준에 의하여 시험을 진행하였다. A터널 내부 천정 면에 광케이블 아날로그 화재감지시스템이 설치하고 화재수신

기에서 Zone별로 온도 설정을 한 후 감시 상태에서 시험을 실시하였다. 화원은 2개의 화조를 나란히 인접시켜 하행선 320m지점에 1,000mm 높이에 설치하고, 화조에 10L의 연료를 넣은 후 점화시킨다. S터널의 총연장은 1,234m, 높이는 6.73m, 폭은 9.495m이다. 화재 실험 및 화재시뮬레이션의 조건은 Table 3과 같다.

Table 3. Condition of experiment

| 구분 | 실 화재실험 | 화재시뮬레이션 |
|-------|---|---|
| 온도 | 3.5℃ | 실 화재실험과 동일 |
| 풍속 | 시험 전 : 2.3~4.4m/s 시험 중 : 2.9~3.9m/s | 3.0m/s, 3.4m/s, 3.9m/s |
| 화조 | 1,000(L)x1,000(W)x100(H)mm (2개) 화재 강도 1.5MW (면적 2m ² 에서 10리터의 알코올 화재 상용) | 실 화재실험과 동일 |
| 연료 | 1-ProPanol, 99.0% (n-Propyl alcohol) | 1-ProPanol, 99.0% (n-Propyl alcohol) |
| 화원 위치 | 하행선 320m 지점 | 하행선 320m 지점 |
| 기압 | 대기압 | 대기압 |

실 화재 실험에서 광케이블 아날로그 화재감지시스템의 화재감지기는 공칭작동온도에 도달하면 동작하는 정온식 기능과 온도 변화율로 동작하는 차동식 기능을 갖고 있어 두 기능의 화재감지기의 동작 온도 값 및 시간을, 화재시뮬레이션에서는 온도 센서의 온도 변화 값 및 시간을 비교, 분석하였다. 화조의 온도, 주위 풍속, 점화 후 화재감지기가 신호를 발할 때까지 시간을 측정하였으며, 광케이블 아날로그 화재감지시스템은 점화 후 1분 이내에 화재 신호를 경보하여야 한다.

4. 실험결과 및 고찰

실 화재실험에서 화재감지기의 온도변화에 따른 동작 시간은 Table 4와 같이 분석되었으며, 차동식분포형감지기 및 정온식감지기의 동작 시간은 1차, 2차 실험 결과 점화 후 1분 이내에 동작하는 것으로 평가되었다. 또한 화재시뮬레이션에서의 온도 센서 동작 시간은 화재수신기의 최대동작시간 5sec를 추가 계산하여 평가한 결과 화재시뮬레이션에서도 1분 이내에 동작하는 것으로 평가되었다.



Figure 1. photograph before test fire

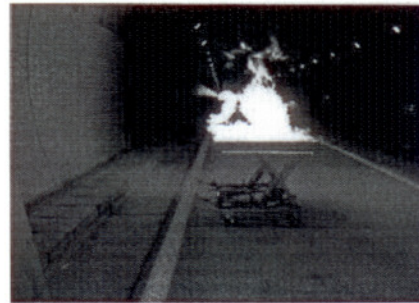


Figure 2. photograph on test fire

Table 4. Detection temperature and time of detector on road tunnel test fires

| 구분 | 설정 번호 | 화재수신기의 설정 | | 시험 결과 | | |
|----------|----------|-----------|------------------|-----------------|---------|---------|
| | | 구간 (m) | 내용 | 작동 시간 (초) | 풍속(m/s) | |
| | | | | | 시험 전 | 시험 중 |
| 1차 시험 | Zone 1 | 310~800 | 정온식 20°C 설정 | 14 | 2.3~4.4 | 2.9~3.9 |
| | Zone 2 | 310~800 | 정온식 30°C 설정 | 21 | | |
| | Zone 3 | 310~800 | 정온식 40°C 설정 | 29 | | |
| | Zone 4 | 310~800 | 정온식 50°C 설정 | 39 | | |
| | Zone 5 | 310~800 | 차동식 7.5°C/min 설정 | 14 | | |
| | Zone 6 | 310~800 | 차동식 15°C/min 설정 | 14 | | |
| 2차 시험 | Zone 1 | 310~800 | 정온식 20°C 설정 | 17 | 2.3~4.4 | 2.9~3.9 |
| | Zone 2 | 310~800 | 정온식 30°C 설정 | 30 | | |
| | Zone 3 | 310~800 | 정온식 40°C 설정 | 53 | | |
| | Zone 4 | 310~800 | 정온식 50°C 설정 | 57 | | |
| | Zone 5 | 310~800 | 차동식 7.5°C/min 설정 | 13 | | |
| | Zone 6 | 310~800 | 차동식 15°C/min 설정 | 17 | | |

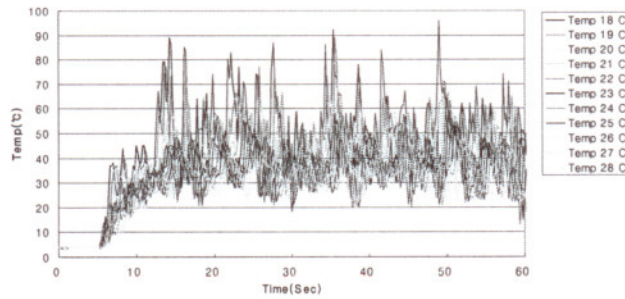


Figure 3. Temperature distribution at velocity 3.0m/sec

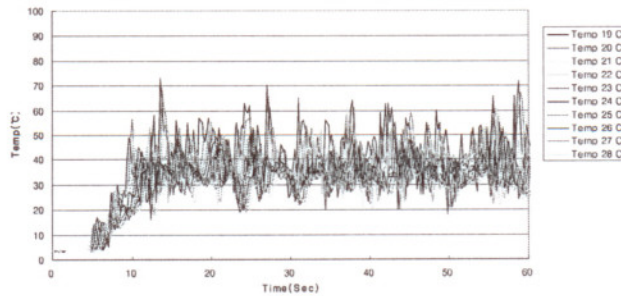


Figure 4. Temperature distribution at velocity 3.4m/sec

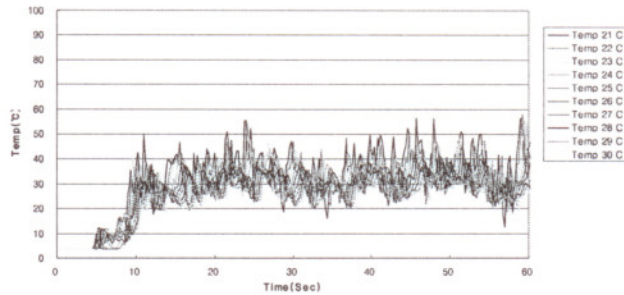


Figure 5. Temperature distribution at velocity 3.9m/sec

5. 결론

본 연구에서 A터널에 광센서 아날로그 화재감지시스템을 설치하여 화재감지기가 동작한 온도 변화 값 및 시간, 실 화재 실험과 동일한 조건으로 화재시뮬레이션을 수행하여 온도센서의 온도 변화 값 및 시간을 비교, 분석하여 도출한 결론은 다음과 같다.

1. 터널에서 실시한 실 화재실험과 화재시뮬레이션의 온도 변화는 점화 후 1분 이내에 화재 신호를 경보하는 것으로 나타났다.
2. 천정 면에 설치된 화재감지기와 온도 센서의 온도 변화 특성은 터널 내부의 기류 속도와 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타났다.
3. 연기의 방향에 의해 피난과 소방대 진입에 영향을 미치므로 화재 발생 지점과 화재 진행 방향을 파악할 수 있는 감지기가 필요한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로터널 방재시설 설치지침"(2004)
2. 신화전자(주), "광센서 선형감지시스템 성능 확인 성적서"(2007)
3. 소방방재청, "감지기의 현식승인 및 검정기술기준(KOFEIS 0301)"(2005)
4. 한국도로공사, "고속도로 터널 방재시스템 연구"(2002)
5. 소방방재청, "대구 달성터널 차량화재 조사보고서"(2005)
6. 오규형 외, "화재공학원론", 동화기술, pp192-219(2006)
7. 행정자치부, 소방대응행정자료 및 통계, p41(2006)
8. 노형기, "도로 터널의 화재감지 성능 확보 방안에 관한 연구", 경기대학교 석사학위논문(2005)
9. 김효규, 이 경우, "국내도로 터널 내 발생 교통사고, 화재사고 및 터널 특성 관계 연구", (사)한국터널공학회 터널기술, 제6권3호, pp199-211(2004)