

지하공간 화재시 배연장비의 활용에 관한 연구

이성룡^{1)*}, 한동훈¹⁾

A Study on the Application of Ventilation Equipment in an Underground Fire

Sung-Ryong Lee, Dong-Hoon Han

Abstract In this study, experiments were conducted to evaluate the effectiveness of ventilation equipment in underground fires. Two type of Ventilators were used in experiments. Experiments were carried out using ethanol square pool fire. Maximum heat release rate was about 460kW. Visibility and temperature distribution were evaluated according to mechanical ventilation. In blower type ventilation, visibility was increased and temperature was lowered.

Key words Underground fire, Ventilator, Smoke movement, Visibility

초 록 본 연구에서는 지하공간에서 화재 발생시 배연장비의 연기배출 성능을 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 배연장비로는 이동식 송풍기를 사용하였으며 가연물질로는 에탄올을 사용하였다. 한 번의 길이가 80cm의 정사각형 화원을 사용하였으며 최대 열방출률은 약 460 kW이다. 급기방식 배연의 영향을 평가하였다. 급기방식의 경우 실내의 가시도 향상 및 온도감소 효과를 확인할 수 있었다.

핵심어 지하화재, 배연기, 연기거동, 가시도

1. 서 론

현대 산업과 기술이 발달함에 따라 도시화 및 산업화가 급속하게 진행되고 있다. 이에 따라 인구의 도시집중 및 산업시설이 증가하고 있다. 또한 건축기술의 발달에 따라 건축물의 형태도 다양화되고 복잡해지고 있다. 지가 상승 및 제한된 건축부지 내에서 많은 인원을 수용하고 효율적으로 활용하기 위해 최근 건설되는 건축물들은 고층화, 심층화, 대형화되고 있는 추세이다.

지하공간에서 화재가 발생할 경우 일반화재와는 다른 특성을 가지고 있다. 화재시 공기의 공급 부족으로 인하여 불완전 연소가 되어 다량의 연기 및 일산화탄소를 발생시키고 산소결핍을 초래할 수 있다. 또한 창이 없는 구조이기 때문에 발생한 열과 연기가 배출되지 않고 내부에 축적되며, 외부로의 자연배연도 불가능함으로써 지하내부로 연기가 쉽게 확산된다. 지하구조상 배연이 원활히 이루어지지 않을 경우 가시거리의 확보가 불가

능하게 됨에 따라 피난자가 피난방향을 쉽게 상실하여 질식 사망률을 높이는 결과를 야기한다. 고열과 축적된 연기로 인하여 소방대의 내부 상황 파악 및 화재현장 진입이 곤란하여 화재진압 활동에 큰 장애요인이 된다.

2009년 1월 부산의 지하노래방에서 화재가 발생하여 9명이 사망하는 사고가 발생하였다. 사망자중 5명은 시계 확보 곤란으로 인하여 출입구 부근 름을 출구로 착각하고 대피하다 사망하였다. 이와 같이 지하공간 내에서는 비교적 소규모의 화재가 발생하더라도 연기가 급속도로 확산될 위험성이 있기 때문에 이를 충분히 고려한 구조 및 진압대책이 이루어져야한다.

화재로 인한 사망자의 절반 이상이 연기에 의한 질식으로 사망하고 있다. 따라서 화재로 발생한 연기를 화재발생 초기에 효과적으로 제거하는 것은 인명피해 및 재산손실을 최소화 하는데 매우 중요하다.

현재 일선 소방관서에서는 배연장비로서 배연차, 이동식 송풍기, 이동식 배풍기 등을 구비하여 배연작업을 수행하고 있다. 2009년 현재 135대의 배연차가 일선관서 등에 배치되어 운용중이다.¹⁾ 그러나 이런 배연장비들을 사용함으로써 인하여 화재에 미치는 영향, 배연효과 등에 관한 체계적인 연구가 진행되지 못하고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 일선 소방관서에서 사용

¹⁾ 중앙소방학교 소방과학연구소

* 교신저자 : leesr72@korea.kr

접수일 : 2010년 4월 5일

심사 완료일 : 2010년 4월 22일

게재 확정일 : 2010년 4월 22일

중인 이동식 배풍기를 사용하여 지하공간 화재 발생시 배연성능을 평가하기 위하여 실험을 실시하였다. 이를 통하여 배연장비의 효율성 및 활용도 제고를 통하여 화재시 효율적이고 효과적인 연기제거를 위한 화재진압 전술의 기초 데이터를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험공간

실험을 위하여 훈련용으로 사용중인 지하공간에서 이동식 송풍기를 사용하여 배연실험을 실시하였다. 지하공간은 17.8 m×17.8 m×2.8 m이며 모두 5개의 방으로 구성되어 있다. 실험시 모든 방들의 출입문을 닫은 상태에서 하에서 실험을 실시하였다. 실험공간의 면적은 96 m²이다. 지하실의 개략도 및 평면도를 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

2.2 배연 장비

배연장비로는 이동식 송풍기를 사용하여 배연실험을 실시하였으며 이를 Fig. 3에 나타내었다. 엔진식 송풍기

는 화재현장이나 건물화재 시 건물지하 및 건물 안에 고여 있는 연기나 유독가스들을 밖으로 배출시키고 밖에 있는 공기를 건물내부로 유입시켜 건물 안에 갇힌 사람이나 구조대원의 안전한 구조 활동을 할 수 있도록 돕는 장비이다. 엔진식 송풍기의 직경은 60 cm이며 최대 풍량은 35,849 CMH이다.

2.3 측정 장치

실험공간의 온도 측정을 위하여 소선 지름 0.6 mm의 K-타입 열전대를 사용하였다. 열전대의 측정범위는 -200℃~1200℃이며 -20℃~120℃ 구간에서 ±2℃의 오차를 가진다. 열전대에 발생된 신호는 Agilent 34970A data acquisition unit과 Agilent 34901A 채널을 통해 수집되었다. 데이터 수집 장치의 각 채널에서 수집된 데이터는 RS-232를 통해 PC로 전송된다. 기계배연 유무에 따른 실내의 온도변화를 측정하기 위하여 비상출구 부근(Tree1), 주출입구 부근(Tree2), Dead-end 부근(Tree3)에 총 15개의 열전대를 설치하였으며 각 열전대의 설치높이를 Fig. 4에 나타내었다.

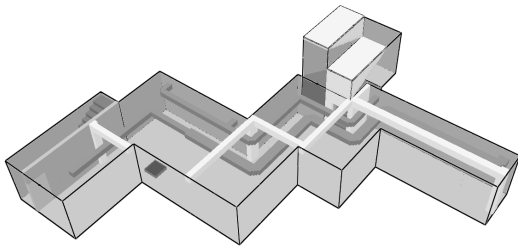


Fig. 1. Schematic diagram

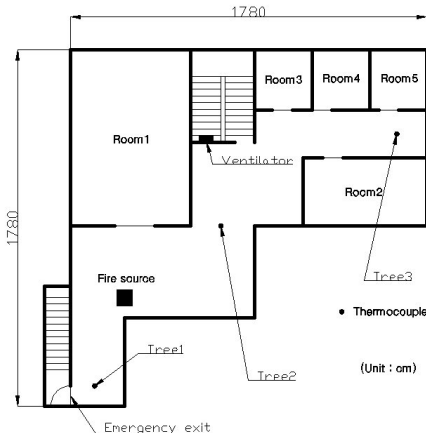


Fig. 2. Floor Plan



Fig. 3. Engine type ventilator

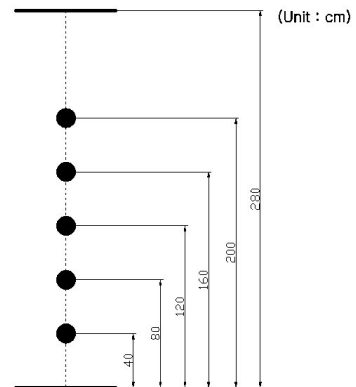


Fig. 4. Position of thermocouples

뜨거운 열기류의 유동을 가시화하기 위하여 황색 연막탄을 사용하였다. room 4 입구에 캠코더를 설치하여 지하실 내부의 상황을 촬영하였다.

2.4 화원

일반적으로 풀 화재는 버너 화재나 고체 화재 등과 같은 다른 화재 장치들에 비해 실험 장치가 간단하고 연소 면적이 일정하여 발열량 산정이 용이한 장점이 있기 때문에 고정된 발열량의 확산 화염을 묘사하는데 있어서 널리 이용된다.²⁻⁴⁾ 본 연구에서는 한번의 길이가 80cm인 정사각형 풀을 사용하였으며, 가연물질로는 에탄올 18리터를 사용하였다. 에탄올의 밀도는 794 kg/m³ 이고 연소열은 26,800 kJ/kg이다.⁵⁾

열방출률은 로드셀을 이용하여 개방된 공간에서 연소 실험을 통해 증발된 연료의 양을 측정하여 산정하였다. 본 연구에서는 92%의 연소효율을 가정하였다.⁶⁾ 열방출률은 다음 식에 의해 결정하였으며 최대 열방출률은 약 460kW이다.⁷⁾

$$Q = \chi m_f \Delta H_{C,A}$$

여기서, χ 는 연소효율, m_f 는 연료의 증발량, ΔH_C 는 연소열, A 는 풀의 표면적을 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

실험에 의한 구조물의 손상 및 훼손을 방지하기 위해 연소시 연기가 발생하지 않는 에탄올을 가연물로 사용하였다. 점화 5분 30초 후 비상출구를 개방하였으며 6분 후 송풍기를 가동하였다. 배연실험 시간대별 진행상황을 Table 1에 나타내었다.

비상출구만 개방하는 자연배연(case 1)과 비상출구 개방 후 송풍기로 급기하는 기계배연(case 2)에 대하여 실험을 수행하였다.

Case 1에 대하여 시간경과에 따른 내부 온도변화를 Fig. 5에 나타내었다.

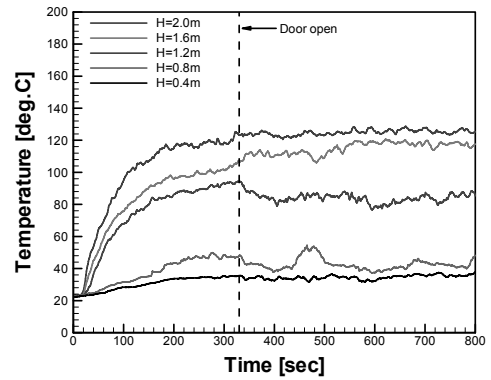
Tree 1의 경우, 2 m 높이에서 화재가 안정화 된 후

Table 1. Time line of experiments

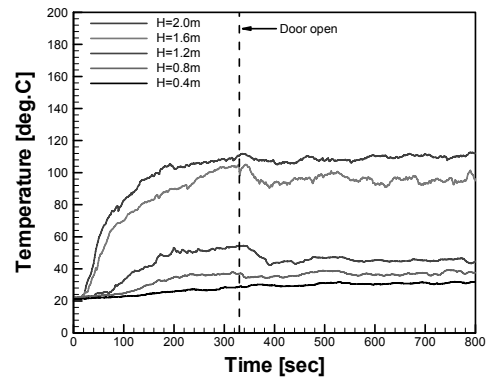
Time	Description
0 : 00	Ignition
5 : 30	Exit open
6 : 00	Ventilator turn on
15 : 00	Burnout

온도가 약 130°C를 유지하였다. 1.2 m와 0.8 m를 경계로 성층화 되는 것을 확인할 수 있으며 1.2 m 이상에서는 상대적으로 온도 상승폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 1.2 m 이하 높이에서는 비상출구 개방으로 인하여 10°C 이상 온도가 감소하였다.

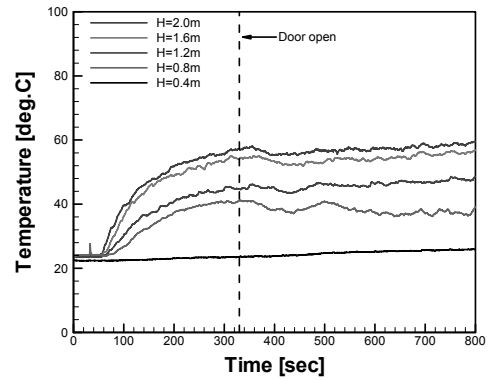
Tree 2의 경우, 2 m 높이에서 화재가 안정화 된 후 온도가 약 110°C를 유지하였다. 1.6 m와 1.2 m를 경계



(a) Tree 1



(b) Tree 2



(c) Tree 3

Fig. 5. Temperature progression(case 1)

로 성층화 되는 것을 확인할 수 있으며 1.6 m 이상에서는 상대적으로 온도 상승폭이 큰 것을 확인할 수 있다. 1.6 m 이하 높이에서는 비상출구 개방으로 인하여 온도가 감소하는 경향을 보이고 있다.

Tree 3의 경우, 비상출구 개방에 의한 영향이 거의 없으며 전체적으로 60°C 이하의 온도를 유지하고 있다.

Case 1에 대하여 시간경과에 따른 지하공간 내부의 사진을 Fig. 6에 나타내었다. 화재발생 3분 후부터는 실내가 연기로 가득차 내부 식별이 불가능한 것을 확인할 수 있다.

Case 2의 경우, 송풍기를 지하실로 통하는 지상층의 계단 입구에 설치하고 점화 6분 후 이동식 송풍기를 가동하였다.

Case 2의 경우에 대하여 시간경과에 따른 내부 온도 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

Tree 1에서는 송풍기를 가동함으로 인하여 전체적으로 100°C 이하로 온도가 감소하였다. 1.2 m 이상 높이에서는 송풍기 가동으로 인하여 최대 35°C 온도가 감소하였다. 그러나 자연배연시 상부영역으로 배출되던 상부의 뜨거운 열기류가 송풍기 가동으로 인한 배연풍에 의하여 화원 하류영역 전체에 걸쳐서 뜨거운 열기류가 유동하게 되고, 이로 인하여 1.2 m 이하 높이에서는 오히려 송풍기 가동으로 인하여 최대 35°C 온도가 증가하였다. 0.8 m 높이에서 온도가 약 75°C까지 증가하였다.

Tree 2에서는 송풍기를 가동함으로 인하여 외부의 차가운 공기가 공급되고 전체적으로 온도가 감소하는 경향을 보이고 있다. 2 m 높이에서 온도가 약 75°C까지 감소하였으며 호흡선 높이인 1.6 m에서는 온도가 약 40°C 이하로 감소하였다.

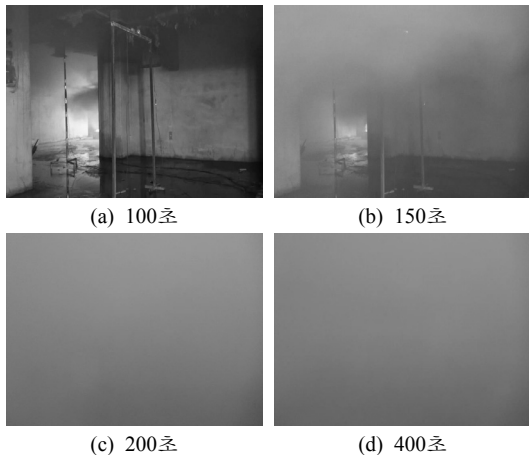


Fig. 6. Photographs of underground interior(case 1)

Tree 3에서도 송풍기 가동으로 인하여 전체적으로 온도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 약 30°C 이하로 온도를 유지하고 있다.

Case 2에 대한 시간 경과에 따른 내부 모습을 Fig. 8에 나타내었다. 약 7분 경과 후부터 시야가 확보되기 시작하며, 약 8분 후에는 화점 식별이 가능한 것을 확인할 수 있다. 약 9분 후에는 화원 반대쪽 창문이 식별할 수

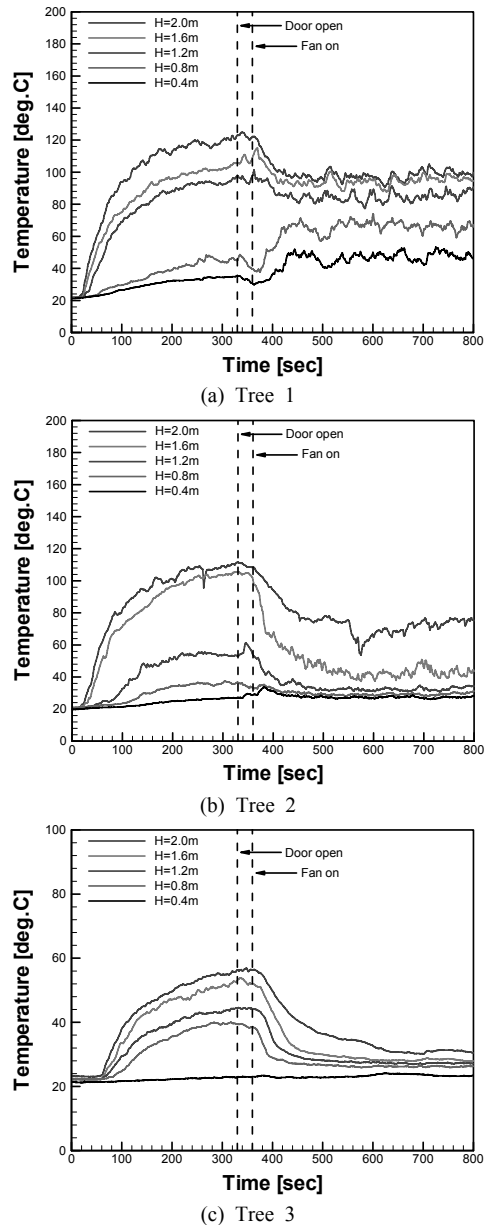


Fig. 7. Temperature progression(case 2)

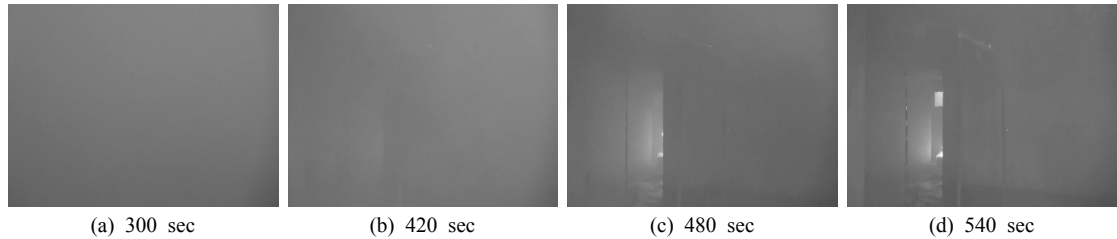


Fig. 8. Photographs of underground interior(case 2)

있는 것을 보여주고 있다. 배연을 실시함으로 인하여 실내의 가시도가 향상되는 것을 Fig. 6의 결과와 비교하여 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 지하공간 화재시 이동식 송풍기를 활용한 배연실험을 실시하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론을 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 1) 이동식 송풍기를 가동함으로 인하여 주출입구 부근에서 온도가 약 75°C 이하로 감소하고 가시도가 향상되어 소방공무원의 소방활동을 위한 진입공간이 확보되었다.
- 2) 기계배연시 화재영역 하류 부근에서는 배연풍의 영향으로 인하여 상부에서는 온도가 약 100°C 이하로 감소하고 하부에서는 약 75°C까지 증가하였다.
- 3) 화원 상류에 위치한 Dead-end 부근에서는 기계배연을 실시함으로 인하여 온도가 30°C 이하로 감소하였다.

참고문헌

1. 소방장비 통계집, 소방방재청, 2009.
2. X. C. Zhou and J. P. Gore, 1995, Air Entrainment flow Field Induced by a Pool Fire, Combustion and Flame, Vol.100, No.1, 52-60.
3. D. Drysdale, 1985, An Introduction to Fire Dynamics, A Wiley-Interscience Publication.
4. E. J. Weckman and A. B. Strong, 1996, Experimental Investigation of the Turbulence Structure of Medium-Scale Methanol Pool Fires, Combustion and Flame, Vol.105, No.3, 245-266.
5. V. Babrauskas, 1998, Burning Rates, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2-1 to 2-15, USA.
6. A. Tewarson, 1998, Smoke Point Height and Fire Properties of Materials, NIST-GCR- 88-555, National Institute of Standards and Technology, Available from National Technical Information Services, Springfield , VA 22161, USA.
7. K. B. Edward, E. N. Harold and D. E. David, 1997, Simplified Fire Growth Calculation, Fire Protection Handbook, 18th Edition, NFPA FPH1897, Section 11, Chapter 10.

이성룡

1998년 중앙대학교 기계설계학과 공학사
2000년 중앙대학교 기계공학부 공학석사
2004년 중앙대학교 기계공학부 공학박사

Tel: 041-559-0545
E-mail: leesr72@korea.kr
현재 중앙소방학교 소방과학연구실 공
업연구사



한동훈

2000년 포스텍 화학과 이학사
2002년 포스텍 화학과 이학석사
2006년 포스텍 화학과 이학박사

Tel: 041-559-0544
E-mail: hdonghl@korea.kr
현재 중앙소방학교 소방과학연구실 공
업연구관

