

지하실 화재에서 배기의 효과에 관한 연구

고경찬* · 박외철

*부경대학교 대학원 안전공학과 · 부경대학교 안전공학부

1. 서론

많은 도시건축물에 지하실이 있고, 지하공간에서의 생활 비중이 커지고 있으며, 많은 부분이 지하가를 포함한 다중이용업소로 이용되고 있다. 화재시 연기의 위험성을 고려하지 않은 가연성 내장재가 설치되어 있음에도 불구하고 적절한 환기장치와 연기를 배출하기 위한 제연장치가 없는 곳이 많다. 특히 지하실 화재는 지하공간의 특성상 무창층 형태를 취하기 때문에 화재발생시 열 및 연기 유동경로와 피난경로가 같은 경우가 대부분이다. 또한 지하실 화재시 지상으로 노출되어 있는 개구부의 부재로 화재상황을 파악하기 힘들고, 지상층에 비하여 비상구 등의 피난시설이 부족하다.

지하 소방대상물은 지하상가와 터널을 포함한 지하가와 지하구 그리고 기타 소방대상물의 지하시설로 나누어지며, 기타 소방대상물의 지하시설 중 다중이용업소가 차지하는 비중이 커지고 있다. 최근의 소방통계¹⁾에 의하면 전국 15만개의 다중이용업소 중에서 46%인 약 7천개가 지하에 위치하고 있으며 그 수도 매년 증가하는 추세이다. 지하 다중이용업소는 사용공간이 협소한 노래연습장, 유흥주점 등이 대부분을 차지하고 있으며, 마감재시공 및 관리의 부실로 화재시 많은 인명피해를 초래하고 있다.

이러한 지하시설의 화재 위험성이 크게 부각됨에 따라 이에 대한 연구가 활발해지고 있다. 정진용 등²⁾은 계단으로 연결되어 있는 밀폐지하공간의 저층에서 화재가 발생했을 때 상층으로 확산되는 연기거동과 열 영향에 대한 실험을 수행하였다. 김영일 등³⁾은 지하매장을 포함한 대형할인점을 대상으로 건축 공간특성과 이에 따른 피난상의 문제점을 분석하였다. 이밖에 지하철 화재시 소화설비와 제연설비에 따른 연기 및 열의 유동 등을 분석한 연구^{4~7)}가 있다.

본 연구의 목적은 지하다중이용업소와 같이 상대적으로 화재에 취약한 소규모 지하공간에서 화재가 발생하였을 때 배기구를 통한 배기량에 따른 열 및 연기배출 효과를 조사하는 것이다. 이를 위해 지하다중이용업소의 일반적 공간형태를 단순화하고 전산유체역학 프로그램을 이용하여 화재시물레이션을 수행하였다. 천장배기구의 유무와 배기구를 통한 배기량에 따라 열 및 연기의 배출효과를 비교하였다. 공간내 가시거리의 변화와 일산화탄소의 양도 조사하였다.

2. 수치모사

지하실 화재모사를 수행하기 위한 공간은 Fig. 1과 같이 0.9m×2.0m크기의 출입문이 있는 6m×6m× 2.5m 크기로 하였으며, 격자수는 60×60×25로 하였다. 천장중앙에 0.5m×

0.5m 크기의 배기구가 있으며, 화원은 0.5m×0.5m 크기의 폴리스티렌(polystyrene)이 연소하는 pool화재로 화재크기는 0.5MW로 하였다. 배기량에 따른 배출효과를 알아보기 위하여 배기구를 통한 배기풍속은 0, 1.2m/s, 2.4m/s로 나누어 계산하였다. 배기풍속은 제연설비 화재안전기준(NFSC 501)에 규정된 1m³/min·m²에 해당하는 배기풍속인 2.4m/s를 기준으로 선정하였다.

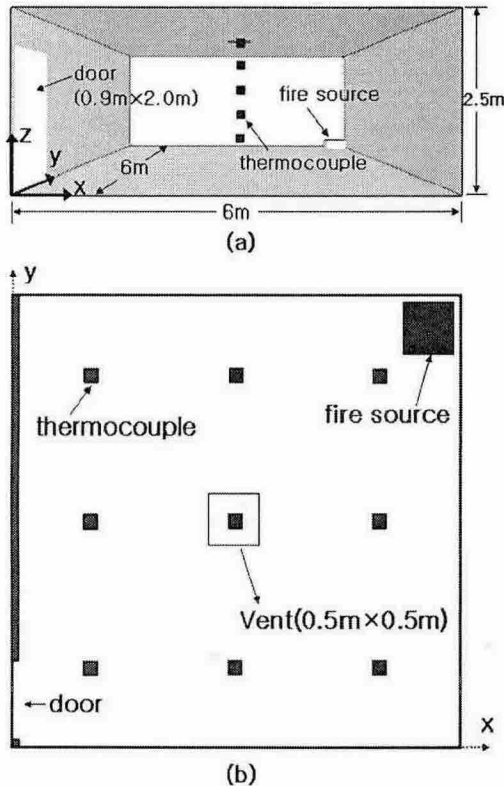


Fig. 1. Computational configuration

3. 결과 및 분석

열방출률(heat release rate, HRR)을 일정하게 하여 화재크기를 0.5MW로 하였다. Fig. 2와 같이 계산의 시작과 동시에 HRR의 값이 순간적으로 상승하는 것은 연소를 일정한 값으로 고정하였기 때문이다. 본 연구는 화재의 성장이 아닌 연기 및 열의 배출 효과를 알아보기 위한 것이므로 화재크기를

지하공간내 바닥으로부터의 높이 1.5m에서의 온도변화를 알아보기 위하여 Fig. 1(b)와 같이 9개의 열전대(thermocouple)을 두어 그 지점에서의 온도와 가시거리, 일산화탄소의 체적분율을 계산하였다. 실내중앙(x=3.0m, y=3.0m) 배기구 아래의 높이에 다른 온도변화를 알아보기 위해 Fig. 1(a)와 같이 z=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 그리고 2.5m에 열전대를 두어 온도변화를 계산하였다. 그리고 지하공간 중앙에서의 높이에 따른 가시거리와 바닥높이 1.5m인 평면에서의 평균 가시거리, 일산화탄소의 체적분율, 시간에 따른 연기(soot)의 양을 계산하였다.

계산시간은 300초로 하였으며, 시뮬레이션에는 FDS⁸⁾ v. 4.0을 사용하였다. FDS database에 포함된 기본값을 그대로 사용하였다. 지하공간의 모든 벽은 단열이고, 유입 공기 및 초기의 실내공기의 온도는 20℃로 가정하였다.

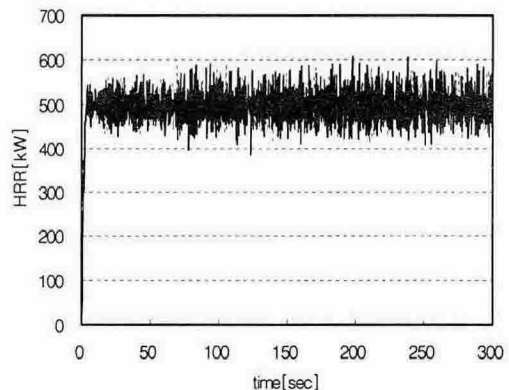


Fig. 2. Heat release rate of the fire

일정하게 하였다.

Fig. 3는 시간에 따른 지하실내 온도변화를 알아보기 위하여 바닥으로부터의 높이 $z=1.5\text{m}$ 에 위치한 9개소(Fig. 1(b)참조)에서의 온도를 평균한 것이다. 배기풍속(배기구의 평균유속)이 0인 경우는 정상상태(150sec 이후)에서 평균온도 99.7°C , 1.2m/s 인 경우는 79.3°C , 2.4m/s 인 경우는 50.9°C 로 배기량이 증가함에 따라 실내 온도가 현저하게 감소함을 알 수 있다.

화재발생 후 시간에 따른 연기의 양은 Fig. 4와 같이 나타났다. 계산 종료 때 지하실내의 연기량은 배기풍속이 0인 경우 0.146kg , 1.2m/s 인 경우 0.107kg , 그리고 2.4m/s 인 경우 0.077kg 으로 배기풍속이 증가할수록 연기의 양이 줄어드는 것으로 나타났다.

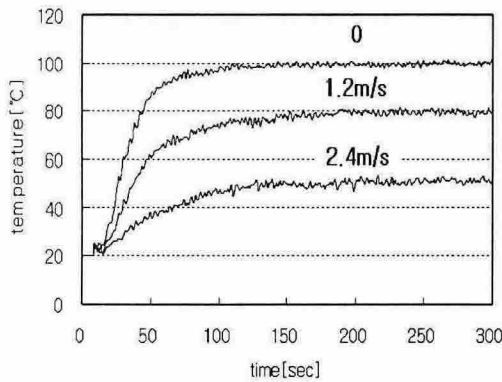


Fig. 3. Comparison of time variation of average temperature at the plane of $z=1.5\text{m}$ for smoke exhaust rate

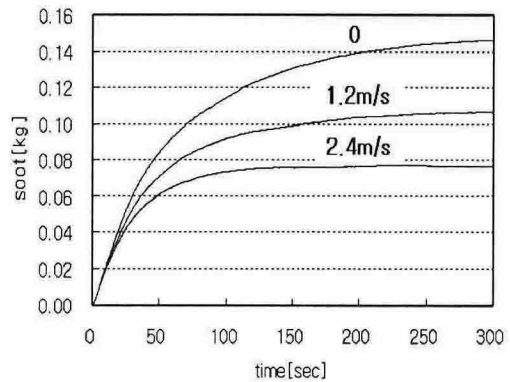


Fig. 4. Comparison of time variation of soot in the room

Fig. 5는 $z=1.5\text{m}$ 인 평면에서의 평균 일산화탄소 체적분율을 나타낸 것이다. 배기풍속이 0인 경우는 약 1200ppm , 1.2m/s 인 경우는 약 700ppm , 그리고 2.4m/s 인 경우는 약 200ppm 으로 배기량의 증가가 실내의 일산화탄소를 감소시키는 것을 알 수 있다. 작업장 환경기준에서 순간적으로도 넘어서는 안되는 일산화탄소 농도(Ceiling value, TLV-C)가 200ppm 이고, 생명체나 건강에 급성으로 위험을 초래하는 농도(Immediately dangerous to life and health concentrations, IDLH)가 $1,500\text{ppm}$ 임을 감안한다면 배기 효과가 매우 좋다고 할 수 있다.

Fig. 6은 $z=1.5\text{m}$ 인 평면에서의 가시거리를 평균하여 배기풍속에 따라 비교한 것이다. 배기풍속에 상관없이 화재발생 후 50초가 되기도 전에 가시거리가 3m 이하로 급격하게 떨어졌다. 이후 50초에서 300초까지의 평균 가시거리는 배기풍속이 0인 경우 0.17m , 1.2m/s 인 경우 0.31m , 그리고 2.4m/s 인 경우 0.8m 로 나타나 배기량에 따른 가시거리의 차이를 확인할 수 있다.

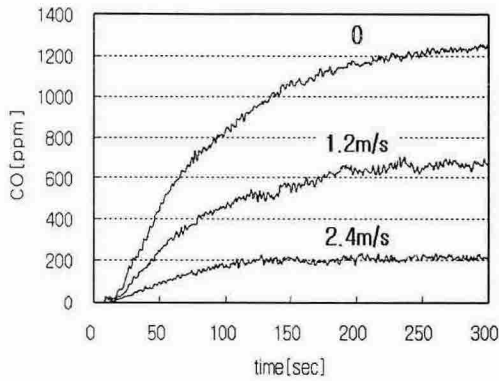


Fig. 5. Comparison of time variation of CO volume fraction at the plane of $z=1.5\text{m}$

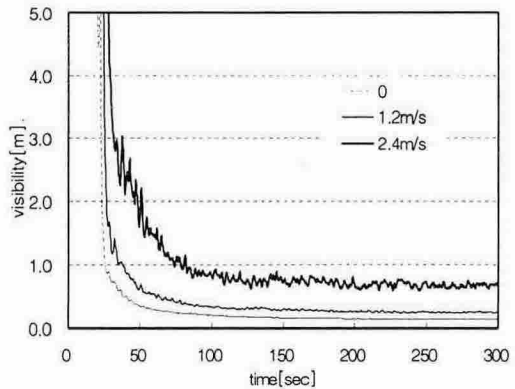


Fig. 6. Comparison of time variation of average visibility at the plane of $z=1.5\text{m}$

Fig. 7은 지하실 중앙에서의 높이에 따른 평균가시거리를 나타낸 것이다. 150초에서 300초까지의 가시거리를 평균하여 나타낸 것이다. 배기량에 따라 약간의 차이가 있으나 연기층이 $z=1.5\text{m}$ 의 부근에서 형성됨을 알 수 있다. 그리고 $z=1.5\text{m}$ 이하에서는 배기풍속에 따라 가시거리의 차이가 큼을 알 수 있다. 그리고 바닥층 부근에서의 가시거리 값의 변화는 외기의 유입으로 인한 연기가 역류가 발생하여 나타나는 현상이다.

Table 1은 $z=1.5\text{m}$ 이 평면에서의 평균 가시거리가 1m로 되는 데 걸리는 시간을 나타낸 것이다. 배기속도가 0인 경우 25.2초, 1.2m/s인 경우 37.5초 그리고 2.4m/s인 경우는 73.5초로 연기층의 하강속도가 배기량이 증가할수록 감소함을 알 수 있다.

Fig. 8은 지하실 중앙($x=3.0\text{m}$, $y=3.0\text{m}$)의 $z=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5\text{m}$ 인 곳에서 150초 이후의 정상상태에서의 평균온도를 나타낸 값이다. 출입문을 통한 외기의 유입으로 $z=0.5\text{m}$ 와 1.0m 에서는 약 20°C 로 차이가 없으나, $z=1.5\text{m}$ 에서는 배기량에 따른 평균온도의 차이가 크게 나타났다. 특히 지하실 천장에서의 온도는 배기풍속이 0인 경우의 온도가 배기가 있는 경우에 비해 훨씬 더 높게 나타났다. 이는 화재시 천장 배기구의 열배출 효과가 큰 만큼 높은 열에 노출된다는 것을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of time required that average visibility become 1m at the plane of $z=1.5\text{m}$

exhaust velocity at vent	time required for visibility of 1m at $z=1.5\text{m}$ [sec]
0	25.2
1.2m/s	37.5
2.4m/s	73.5

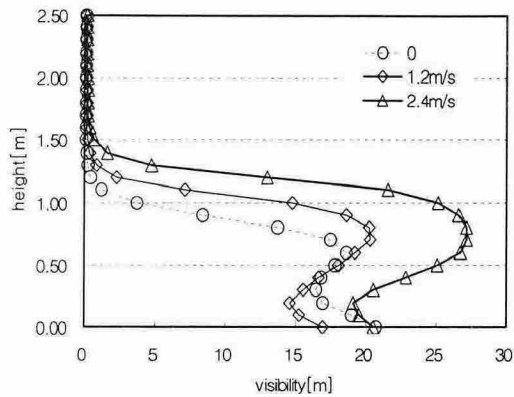


Fig. 7. Comparison of visibility along the z-axis at the room center(averaged over 150~300sec)

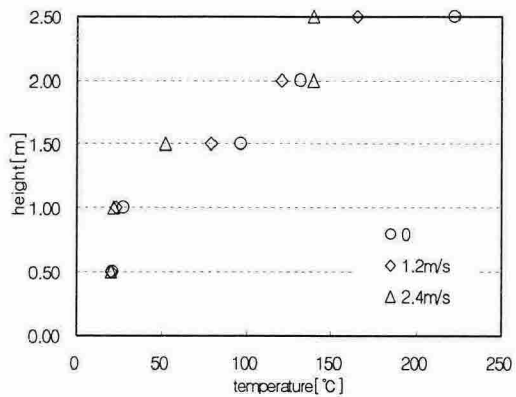


Fig. 8. Comparison of average temperature for height at room-center(x=3.0m, y=3.0m, averaged over 150~360 sec)

이상의 결과로부터 지하다중이용업소에 배기구를 설치할 필요가 있으며, 화재탐지와 동시에 배기방식의 제연설비가 작동하도록 할 필요가 있음을 알 수 있다. 배기풍량은 가연성물질의 종류와 연기발생량 등을 고려하여 결정해야 할 것이다.

4. 결론

지하다중이용업소의 일반적 공간형태에 대하여 화재시 배기구를 통한 배기의 효과를 분석하였다. 열방출률이 일정한 소규모화재(0.5MW)에서 배기량에 따라 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 배기량에 증가에 따라 평균온도 감소를 확인 할 수 있었다.
- 2) 배기풍속의 증가는 공간내 연기양과 CO양을 감소시키는 것으로 나타났다.
- 3) 화재발생후 바닥으로부터의 높이 1.5m에서의 가시거리가 급격하게 줄어들고, 그 아래 쪽 공간에서는 배기풍속에 따라 가시거리의 차이가 크게 나타났다.
- 4) 지하다중이용업소에 배기방식의 제연설비를 설치 할 필요가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) 2004~2005년 예방소방행정 통계자료, 소방방재청.
- 2) 정진용, 홍기배, 이재하, 유홍선, “지하계단 화재에서 유동에 대한 실험연구”, 설비공학논문집, 제15권, 제10호, pp.821~827, 2003.
- 3) 김영일, 윤명오, 김종훈, 김운형, “할인점 지하매장의 피난성능 개선에 관한 연구”,

- 한국화재소방학회, 제 15권, 제1호, pp.92~99, 2001.
- 4) 박희철, “대구지하철역 제연의 문제점과 대책- I.제연방식”, 한국화재소방학회, 제17권, 제4호, pp.98~104, 2003.
 - 5) 노규삼, 허준호, “지하공간의 위험성평가에 관한 연구-지하철 역사내의 연기제어를 위한 제연경계벽의 효용성 평가”, 한국화재소방학회, 제 18권, 제14호, pp.103~109, 2004.
 - 6) 장희철, 김태국, 박원희, 김동현, “지하역사에서 화재발생시 자연풍 및 강제배연의 유무에 따른 열 및 연기거동 특성연구”, 한국화재소방학회, 제19권, 제1호, pp.80~86, 2005.
 - 7) 전홍균, 최영상, 추홍록, 장준영, “스프링클러와 배연설비의 통합작동이 수평통로의 연기제어에 미치는 영향”, 한국화재소방학회, 제19권, 제 1호, pp.70~79, 2005.
 - 8) K. B. McGrattan, H. R. Baum, R. G. Rehm, A. Hamins, G. P. Forney, J. E. Floyd and S. Hostikka, Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide v.4, NIST, U.S.A., 2004.