

대구 지하철역 제연의 문제점과 대책

II. 배기방식 제연설비의 풍량

A Numerical Simulation of Smoke Control in Daegu Subway Stations

II. Air Flowrate of Extraction System

박 외 철[†]

Woe-Chul Park[†]

부경대학교 공과대학 안전공학과
(2003. 9. 29. 접수/2003. 12. 9. 채택)

요 약

II부에서는 I부에서 3가지 기계제연방식 중에서 가장 제연성능이 우수한 것으로 나타난 배기방식의 풍량 0.6~2.4 m³/s와 두 화재크기 200 kW와 2 MW에 대한 공간내 온도와 연기입자의 분포를 조사하였다. I부와 동일한 수치법을 동일한 계산영역에 적용한 결과, 배기풍량은 제연성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났고, 두 화재크기에서 풍량의 증가가 제연성능을 개선하는 비슷한 경향을 보였다. 주어진 조건에서 대피로의 온도를 60°C 이하로 유지하기 위해서는 2.4 m³/s 이상의 배기풍량이 필요함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In Part II, the temperature and smoke particle distributions of the extraction system, which yielded the best smoke removal performance among the three smoke control systems in Part I, for extraction flowrates of 0.6~2.4 m³/s and two fire sizes of 200 kW and 2 MW were presented. The same numerical method was utilized to the same computational domain and configurations as Part I. It was shown that the extraction flowrate affects the smoke control performance significantly, and that a similar trend in improving the smoke removal performance with the increasing extraction flowrate between the two fire sizes. An extraction flowrate of 2.4 m³/s or higher was required for the temperature in the escape route less than 60°C for the given situations.

Keywords : Simulation of subway station fire, Smoke control systems, Extraction system, Air flowrate

1. 서 론

I부에서 지하철 역 승강장 계단주위 10 m×3 m×5.4 m 크기의 공간에 200 kW의 폴리우레탄 화재를 모사한 결과, 급기방식의 제연설비는 제연효과가 거의 없음을 확인하였다. 또 I부에서 세가지 기계제연방식 중에서 배기방식이 가장 효과적인 것으로 나타나 기존의 급기방식을 배기방식으로 전환하는 것이 바람직함을 알 수 있었다. 급배기방식도 고려할 수 있으나, 배기방식에 비해 제연성능이 낮은 것으로 나타났고, 배기방

식에서는 환기용 배기팬을 연기를 배출하기 위한 배기팬으로 그대로 사용하거나 필요하면 배기풍량을 증가시키면 되므로 급배기방식에 비해 훨씬 더 경제적이다. I부에서는 각 급기구와 배기구의 풍량을 0.9 m³/s로 일정하게 유지하였고, 화재크기를 200 kW로 설정하였다.

제연에 있어서 배기풍량은 공간내 연기의 확산을 막고 안전한 피난로를 확보하기 위해 대단히 중요하므로, 풍량에 따라 배기방식의 제연성능이 어떻게 달라지는가를 확인할 필요가 있다. 또 I부에서는 화재크기를 200 kW로 국한하였으나, 화재크기가 이보다 훨씬 더 큰 경우에도 제연성능에 큰 차이가 없는지, 계단 주위

[†] E-mail: wcpark@pknu.ac.kr

의 온도를 NFPA 130에 규정된 대피공간의 온도 60°C 이하로 유지할 수 있는지를 조사할 필요가 있다. 본 연구의 목적은 두가지 화재크기에 대하여 배기풍량에 따른 제연성능과 대피로의 온도를 조사하는 것이다. 연구의 일관성을 유지하기 위해, I부와 같이 폴리우레탄 화재를 대상으로 하였고, 계산영역과 수치법도 같게 하였다. 화재크기가 각각 200 kW와 2 MW일 때 배기풍량 $Q=0.6, 1.2, 1.8, 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 대한 온도와 연기의 분포, 연기입자수의 변화를 비교하였다.

2. 수치모사 방법

계산영역은 I부와 같이 1층 승강장과 2층 출입통로, 그리고 계단으로 구성된 바닥면적 $10 \text{ m} \times 3 \text{ m}$, 높이 5.4 m의 공간을 대상으로 하였다(Fig. 1). 1층 승강장은 크기가 $10 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$ 이고, 좌우 끝 평면이 모두 대기와 접하며, 2층 출입통로의 크기는 $4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2.6 \text{ m}$ 이다. 계단의 경사각은 45°이고 폭은 1.8 m($1.2 \leq y \leq 3 \text{ m}$)이다. o로 표시된 2개의 배기구 중심위치와 개구부의 위치는 Table 1과 같고, 각 배기구의 크기는 $0.5 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 이다.

각 배기구에서의 풍량은 0.6, 1.2, 1.8, $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (또는 2160, 4320, 6480, $8640 \text{ m}^3/\text{h}$)로 하였다. 이 값은 배기구 평균유속 2, 4, 6, 8 m/s에 해당한다. 화재크기는 200 kW(I부와 같음)와 이의 10배인 2 MW로 하였다. 화원의 바닥면적은 $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ 이고, 화원의 중

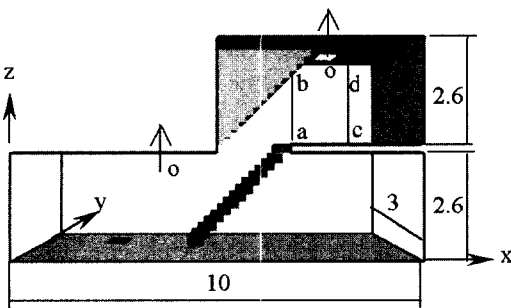


Fig. 1. Computational domain (dimensions in m).

Table 1. Locations of outlets and openings in m

Centers of outlets	(3.25,2.1,2.6 m) (8.25,2.1,5.4 m)
Openings	plane of $x=0$ plane of $x=10 \text{ m}, z \leq 2.6 \text{ m}$ plane of $y=0, z \leq 2.6 \text{ m}$

심위치는(2.1, 2.1, 0.0 m)이다. 격자의 크기는 x, y, z 방향 모두 균일하게 0.1 m로 잡아 격자수를 $100 \times 30 \times 54$ 로 하였다. 배기방식의 제연설비는 I부와 같이 화재발생 10초 뒤에 가동되며, 공간내 온도분포와 계단의 오른쪽 끝의 a-b선($x=7 \text{ m}, y=2.1 \text{ m}$)과 2층 배기구 옆 c-d선($x=9.25 \text{ m}, y=2.1 \text{ m}$)에서 $t=25 \sim 50 \text{ s}$ 의 평균온도분포를 비교하였다. 또 공간내 연기입자의 분포와 시간에 따른 연기입자수의 변화를 배기풍량에 따라 비교하였다. 수치모사에는 Fire Dynamics Simulator (FDS)¹⁾ v3.1을 사용하였고, FDS에 기본으로 포함된 혼합분율 연소모델²⁾과 복사 유한체적법³⁾을 그대로 사용하였다.

3. 결과 및 토의

화재 발생 후 50초($t=50 \text{ s}$)에서 공간내 $y=2.1 \text{ m}$ 인 수직평면의 온도분포를 Fig. 2에 비교하였다. 화재크기가 200 kW일 때 배기풍량 $Q=0$, 즉 제연설비가 없는 경우에도 화염기둥과 그 주위의 천장을 제외하면 공간내 온도분포는 50°C 미만으로 낮게 나타났다. 제연설비가 없는 경우에 비해 배기풍량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때는 계단과 2층에서의 온도가 훨씬 더 낮아 거의 대기온도(20°C)로 유지됨을 볼 수 있다. 그러나 화재크기가 200 kW의 10배인 2 MW의 경우에는 제연설비가 없을 때 계단의 위쪽과 2층 전체가 50°C를 넘었다. 배기방식 제연설비의 풍량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 계단의 온도가 대기온도로 떨어졌고 2층 공간의 아래부분의 온도도 낮아졌다. 두 화재크기에서 모두 배기방식의 제연효과가 뚜렷이 나타났다.

Fig. 3에는 대피공간의 온도가 NFPA 130의 규정대로 60°C 이하인가를 확인하기 위해 화재크기가 2 MW일 때 배기풍량에 따라 60°C를 넘는 부분을 비교하기 위해 60°C의 등온선을 표시하였다. 풍량이 $1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때는 제연설비가 없는 경우와 큰 차이없이 계단과 2층공간 전체가 60°C를 넘었다. $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서는 계단에서는 온도가 60°C를 넘지 않지만 2층 공간에는 여전히 60°C를 넘었다. 그러나 배기풍량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때는 2층 공간에도 60°C 이하로 유지되었다. 그러므로 주어진 조건에서 승강장에 있는 사람들이 안전하게 대피하기 위해서는 배기구 1개당 배기풍량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (또는 $8640 \text{ m}^3/\text{h}$) 이상이어야 함을 알 수 있다. $10 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 5.4 \text{ m}$ 크기의 계산영역에 2개의 배기구가 설치되어 있으므로, 총 $17280 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 풍량이 필요하다. 이 배기풍량은 소방기술기준의 최소 배기풍량보다 훨씬 더 큰 값이다. 또 지하철역에

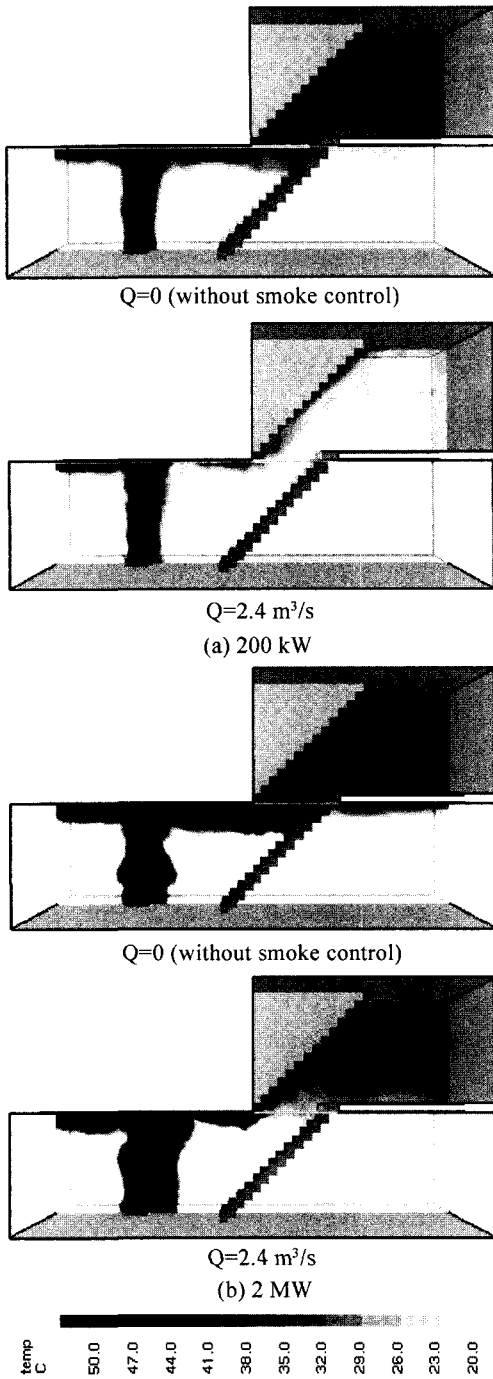


Fig. 2. Comparison of temperature distributions at $t=50$ s ($y=2.1$ m).

는 넓은 개구부가 여러 개 있고 다수의 사람들이 계단을 통해 윗층으로 대피해야 하는 특성이 있다. 그

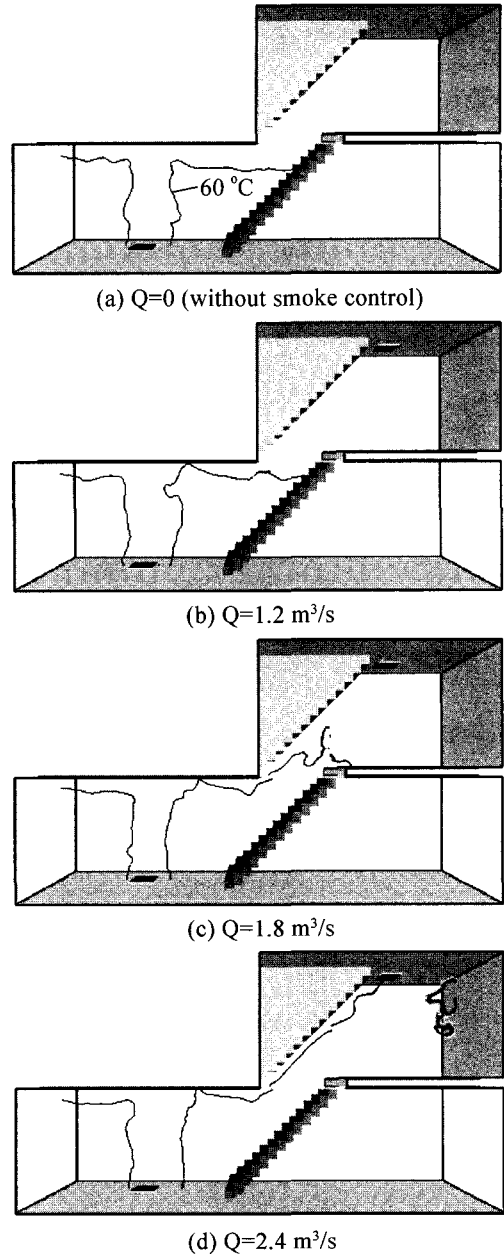
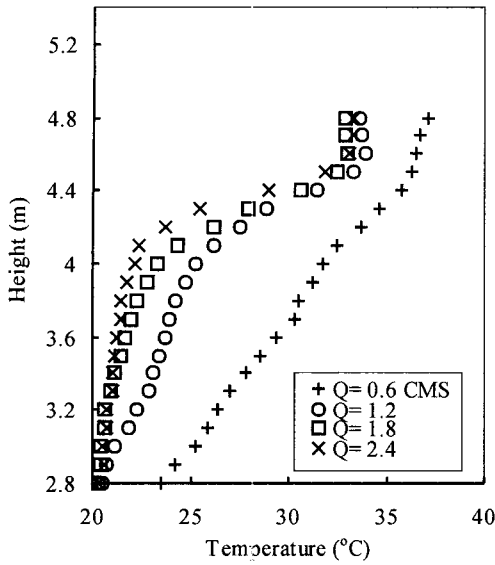
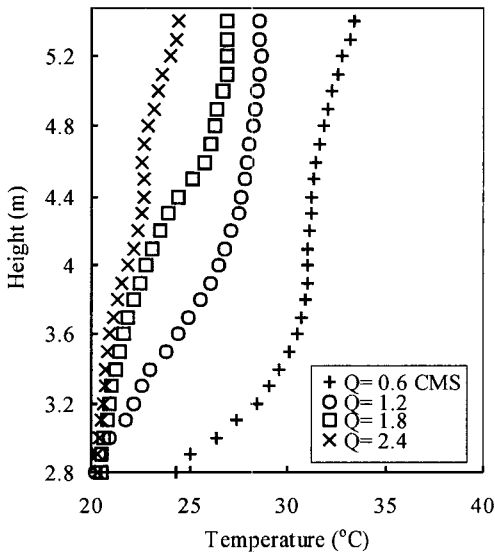


Fig. 3. Comparison of regions of 60°C and above at $t=50$ s ($y=2.1$ m) for fire size of 2 MW.

러므로 단순히 제연구역의 크기(바닥면적과 수직거리)에 따라 풍량을 결정하도록 규정한 소방기술기준을 지하철역 화재에 적합하게 개정할 필요가 있다. 한편, 화재크기가 200 kW의 경우에는 Fig. 2와 같이 제연 설비가 없는 경우에도 계단과 2층공간의 온도가 60°C



(a) Line a-b (x=7.0m, y=2.1 m)

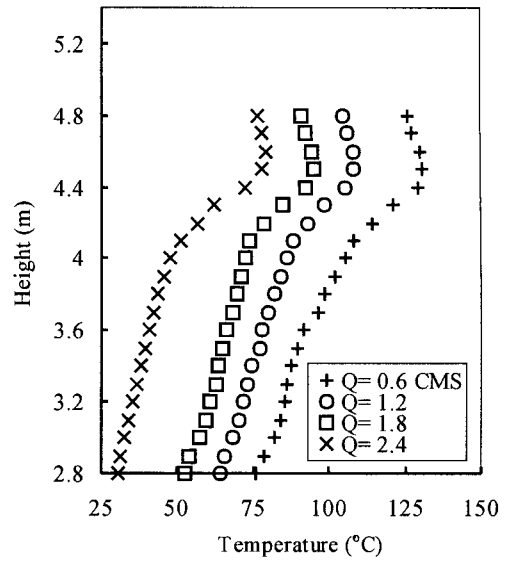


(b) Line c-d (x=9.25m, y=2.1 m)

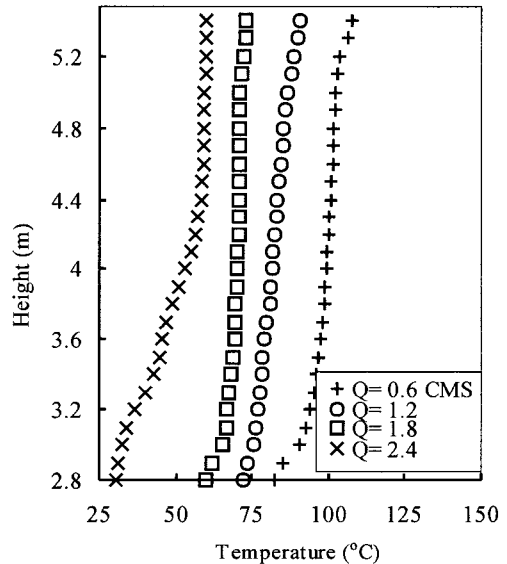
Fig. 4. Vertical distribution of average temperature for fire size of 200 kW.

를 넘지 않았다.

화재크기가 200 kW일 때 배기방식의 풍량에 따라 a-b선과 c-d선의 평균온도분포를 Fig. 4에 비교하였다. I부에서와 같이 평균온도는 t=25~50 s의 온도로부터 구하였다. 배기풍량 Q가 0.6 m³/s에서 1.2 m³/s로 증가할 때 계단 끝(Fig. 4a)에서의 온도가 상당히 감소하지만, 풍량이 1.8 m³/s와 2.4 m³/s로 증가한 경우에는 온



(a) Line a-b (x=7.0m, y=2.1 m)



(b) Line c-d (x=9.25m, y=2.1 m)

Fig. 5. Vertical distribution of average temperature for fire size of 2 MW.

도의 감소폭이 크지 않다. x=9.25 m(Fig. 4b)에서는 풍량의 증가에 따라 공간 내 온도가 감소하여, 풍량이 2.4 m³/s일 때는 바닥에서 천장에 이르기까지 25°C 이하임을 알 수 있다.

Fig. 5에는 화재크기가 2 MW인 경우에 배기풍량에 따라 2층 공간의 평균온도를 비교하였다. 풍량이 증가하면 a-b선과 c-d선에서 모두 평균온도가 현저히 감소

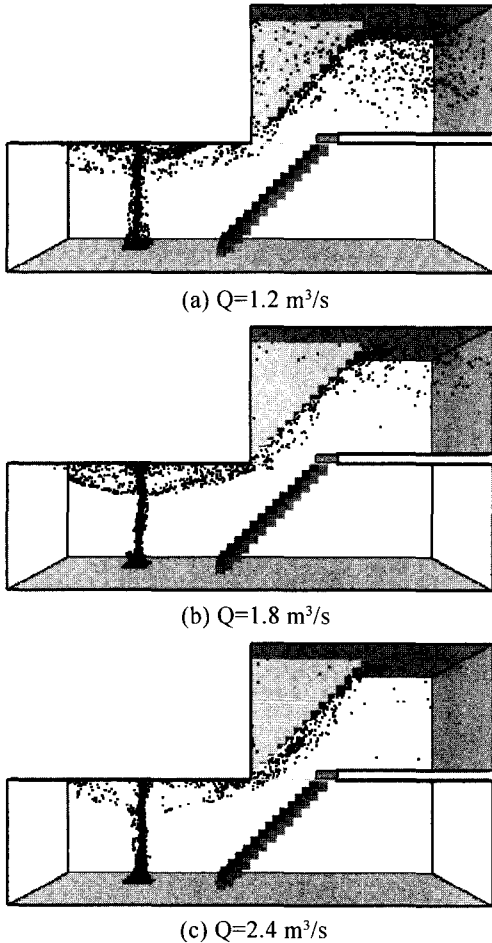


Fig. 6. Distribution of smoke particles at $t=50$ s for fire size of 200 kW.

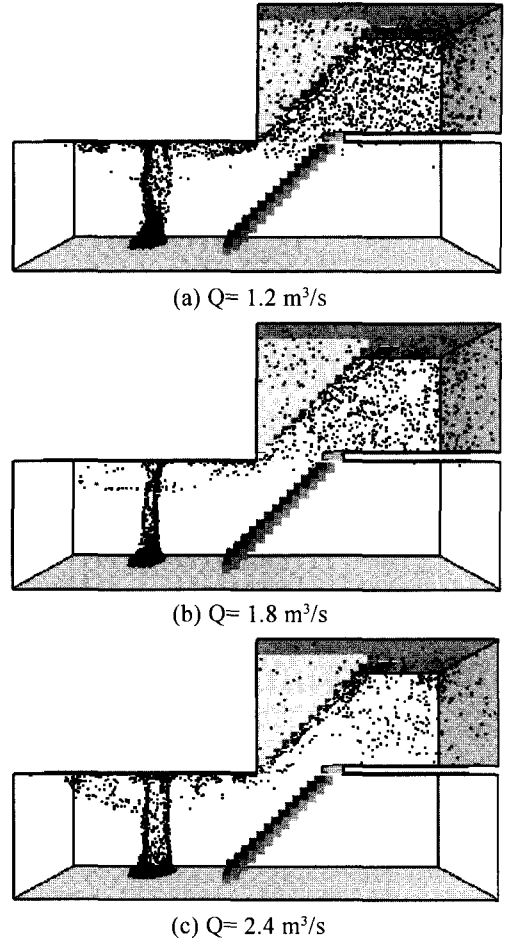


Fig. 7. Distribution of smoke particles at $t=50$ s for fire size of 2 MW.

함을 알 수 있다. 2층 공간의 평균온도가 60°C 이하를 유지하기 위해서는 배기풍량이 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상이어야 함을 알 수 있다. 이것은 앞의 Fig. 3에서 $t=50$ s 일 때의 등온선으로 확인한 바와 일치한다. Fig. 3의 설명에서 언급한 바와 같이 풍량 $Q=2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 은 소방기술기준의 최소 배기풍량보다 훨씬 더 크다.

Fig. 6는 화재크기 200 kW의 화재가 발생한 후 50 초일 때 배기풍량에 따른 공간내 연기입자의 분포를 비교한 그림이다. 풍량이 증가함에 따라 연기입자수가 감소하여 $1.8 \text{ m}^3/\text{s}$ 과 $2.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 에서는 천장부근에만 연기입자가 분포되어있다.

Fig. 7에는 화재크기가 2 MW일 때 연기입자의 분포를 비교하였다. 풍량이 증가함에 따라 연기입자수의 감소가 뚜렷이 나타났다.

배기풍량에 따른 공간내 연기입자수의 변화를 Fig. 8에 비교하였다. 화재크기가 200 kW의 경우(Fig. 8a), $Q=0$, 즉, 제연설비가 없으면, 연기입자수는 $t\sim 7$ s부터 거의 선형적으로 증가하였다. 그러나 배기방식의 제연설비가 $t=10$ s에서 가동되어 배기풍량이 $Q=1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상이면 연기입자수는 증가하지 않고 거의 일정하게 유지되었고, 풍량이 클수록 공간내 남아있는 연기입자수가 줄어들었다. 이러한 경향이 화재크기가 10배인 2 MW의 경우(Fig. 8b)에도 비슷하다. 이것은 화재크기에 큰 차이가 있음에도 불구하고 풍량에 따른 제연효과가 비슷함을 의미한다. 그러므로 이 결과로부터 배기풍량이 제연성능에 대단히 중요한 요소임을 확인할 수 있고, 연기를 신속하게 배출하기 위해서는 충분한 풍량이 필요함을 알 수 있다.

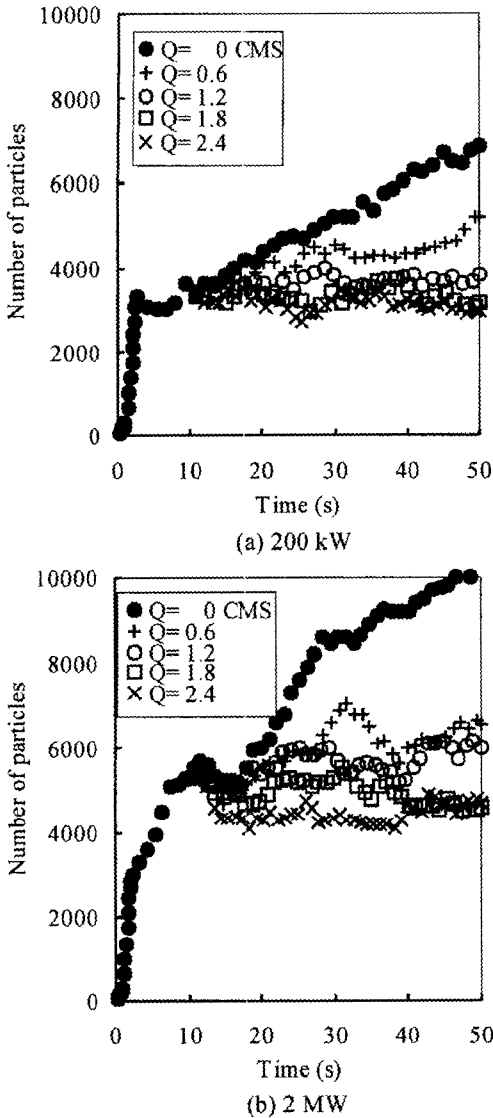


Fig. 8. Variation of the number of smoke particles in the compartment with time.

4. 결 론

지하철 역 승강장 계단주위 $10\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2.6\text{ m}$ 크기 공간의 200 kW와 2 MW 폴리우레탄 화재에 대하여 배기방식 제연설비의 풍량에 따른 온도와 연기입자의 분포를 FDS로 조사하였다. 계산영역의 천장에 위치한 두개의 배기구를 통해 각 배기구의 풍량 $Q=0.6 \sim 2.4\text{ m}^3/\text{s}$ 을 대상으로 하였다. 온도와 연기입자의 분포, 그리고 공간내 연기입자수의 변화를 비교한 결과, 배기풍량이 제연성능에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 풍량이 증가할수록 제연성능이 개선되는 것은 두 화재크기에서 비슷하게 나타났다. 화재크기가 2 MW 일 때 주어진 조건에서 배기풍량이 $2.4\text{ m}^3/\text{s}$ 이상일 때 대피로의 온도가 60°C 이하를 유지하는 것으로 나타났다. 연기를 신속하게 배출하기 위해서는 배기풍량을 충분히 크게 해야하며, 소방기술기준의 제연설비 풍량에 관한 규정을 지하철역 화재에 적합하게 개정할 필요가 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 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.3, NIST, Gaithersburg, Maryland, U.S.A. (2002).
2. J. E. Floyd, McGrattan, K. B. and Baum, H. R., "A Mixture Fraction Combustion Model for Fire Simulation Using CFD", Proc. Int'l Conf. on Engineered Fire Protection Design, pp.279-290 (2001).
3. G. D. Raithby and Chui, E. H., "A Finite-Volume Method for Predicting Radiant Heat Transfer in Enclosures with Participating Media", J. of Heat Transfer, Vol. 112, No. 2, pp.415-423(1990).