

# 대외류모사를 이용한 연기이동의 연구

## II. 제연방식과 개구부의 크기

박 외 철

부경대학교 안전공학과

(2003. 4. 18. 접수 / 2003. 6. 3. 채택)

## A Study on Smoke Movement by Using Large Eddy Simulation

### II. Smoke Control Systems and Opening Size

Woe-Chul Park

Department of Safety Engineering, Pukyong National University

(Received April 18, 2003 / Accepted June 3, 2003)

**Abstract :** The large eddy simulation based Fire Dynamics Simulator was utilized to investigate the effects of the size of an opening on smoke removal performance for the three smoke control systems-ventilation, purge, and extraction. Three different opening sizes,  $r_A=1, 2, \text{ and } 3$  were investigated while the flow rate remained  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  at the inlet or outlet depending on the systems. Increase of the opening size did not give a significant difference in the smoke removal rate for the three smoke control systems, though the increasing opening size slightly improved smoke removal. The extraction system was shown the best smoke control system, and the purge system yielded low performance compared to the other two systems for all the different opening sizes.

**Key Words :** smoke control systems, size of opening, large eddy simulation, ventilation system, purge system, extraction system

### 1. 서 론

2003년 2월18일 대구 지하철 중앙로 역의 화재로 190여명이 사망하였다. 연기를 신속하게 제거하였더라면 인명피해를 줄일 수 있었을 것이다. 제연방식과 풍량에 따른 공간내 유입 연기의 제연을 비교한 I부에서는 급배기방식, 급기가압방식, 배기방식의 세가지 기계제연방식과 풍량에 따른 제연성능을 비교하였다. 개구부가 없는 경우에는 세가지 제연방식 모두 제연성능이 비슷하였으나, 급기구와 같은 면적의 개구부가 있을 때는 급기가압방식이 다른 두 제연방식에 비해 제연성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 화재참사가 발생한 대구 지하철역에는 급기방식(개구부 가 있는 경우에는 가압되지 않으므로 급기가압방식 대신 급기방식으로 부름)의 제연 설비가 설치되어 있어, 지하철역과 같이 개구부의

면적이 넓을 때 급기방식의 제연성능을 확인할 필요가 있다. 이에 따라 개구부의 크기에 따른 제연성능 조사의 필요성이 제기되었다.

본 연구는 개구부의 크기에 따라 세가지 제연방식의 제연성능이 어떻게 달라지는가를 알아보기 위해 I부와 동일한 계산영역과 수치방법을 사용하였다. 개구부의 크기는 급기구(또는 배기구)의 면적에 대한 개구부의 면적비  $r_A$ 로 정의하고,  $r_A=1, 2, 3$ 의 세 값에 대하여 조사하였다. 3차원 공간 내에 일정한 개수의 입자를 무작위로 배열하고 각 제연방식을 가동했을 때, 속도벡터와 시간에 따른 공간내 입자수의 변화를 비교하였다.

### 2. 수치법

일관성을 유지하기위하여 계산영역과 수치법을 I부와 동일하게 하였다. 계산영역은 Fig. 1과 같이 각

각 한 개의 급기구와 배기구가 있는  $2\text{m} \times 2\text{m} \times 2.4\text{m}$ 의 공간을 대상으로 하였다. 급기구와 배기구의 크기는 각각  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$ 이고, 급기방식에서는 배기구를 개구부로, 또 배기방식에서는 급기구를 개구부로 취급하였다. 개구부의 위치는  $1\text{m} \times 0.25\text{m}$ 의 경우( $r_A = 1$ )에는 Fig. 1과 같지만, 개구부의 면적이 이보다 큰 경우에는 밀변의 위치( $z = 0.15\text{m}$ )와 길이 ( $1\text{m}$ )는 같게 하되 높이만 변경하여 개구부의 치수가  $1\text{m} \times 0.5\text{m}$ ,  $1\text{m} \times 0.75\text{m}$ 가 되게 하였다. 이 치수는 급기구(또는 배기구)의 면적에 대한 개구부의 면적비  $r_A$ 가 각각 2와 3에 해당한다. 풍량은 모든 계산에서  $0.75\text{m}^3$ (급기구와 배기구의 평균유속  $3\text{m/s}$ 에 해당)로 일정하게 하였다. 공기는 이상기체로 취급하였고, 벽과 공기의 온도는 모두  $20^\circ\text{C}$ 로 가정하였다. Table 1은 개구부와 급배기구의 크기와 위치, 풍량 등의 입력값을 요약한 것이다.

지배방정식은 연속방정식과 운동량방정식이며, 등온상태의 유동을 다루므로 에너지방정식과 화학종방정식, 연소모델은 필요하지 않다. 수치법으로 1부와 같이 대와류모사(large eddy simulation)<sup>1)</sup>가 포함된 Fire Dynamics Simulator를 사용하였고, 이에 대한 자세한 내용은 McGrattan 등<sup>2)</sup>에 기술되어 있다.

Table 1. Summary of configurations and numerical parameters

Compartment dimensions		2 × 2m <sup>2</sup> floor, 2.4m high	
opening	size	Dimension (m <sup>2</sup> )	location of center (m)
	$r_A = 1$	1 × 0.25	0.0, 1.0, 0.275
	$r_A = 2$	1 × 0.5	0.0, 1.0, 0.4
	$r_A = 3$	1 × 0.75	0.0, 1.0, 0.525
inlet		0.5 × 0.5	2.0, 1.0, 1.2
outlet		0.5 × 0.5	0.0, 1.0, 2.05
air flowrate		0.75m <sup>3</sup> /s	

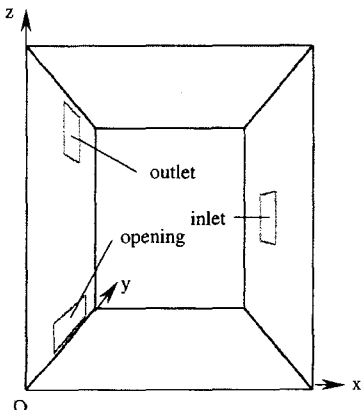


Fig. 1. Computational domain (2m x 2m x 2.4m)

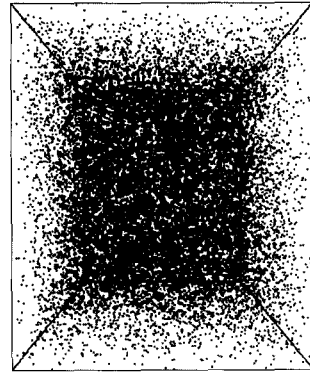


Fig. 2. Initial particle distribution

실내에 유입된 연기는 Fig. 2와 같이 무작위로 분포하는 20,000개의 입자로 가정하고, 제연방식에 따라 실내 입자수 감소율을 비교하였다. 연기의 온도가 주위 공기보다 높을 때에는 천장에 연기층을 형성하지만, 등온상태에서는 연기층을 표현하기가 곤란하므로 공기와 비슷한 온도의 연기가 실내에 다량 유입하여 공기 중에 혼합된 상태로 가정하여 1부에서와 같이 연기입자로 표현하였다.

### 3. 결과 및 토의

Fig. 3은 개구부의 면적에 따른 각 제연방식의 입자 감소율을 비교한 그림이다. Fig. 3a의 급배기방식과 Fig. 3b의 급기방식에서는 급기구의 면적에 대한 개구부의 면적비  $r_A = 1$ 과  $r_A = 3$ 의 입자감소율이 비슷하다. 그러나 배기방식의 경우(Fig. 3c)에는  $r_A = 3$ 일 때  $r_A = 1$ 에 비해 제연성능이 더 좋은 것으로 나타나 있다.  $t = 30\text{ sec}$ 에서 실내에 남아있는 입자수를 비교하면 세가지 제연방식에서 모두 큰 개구부의 경우에 더 적은 수의 입자가 남아 있었다(뒤의 Table 1 참조). 이는 개구부의 크기가 제연성능에 미치는 영향은 크지 않지만 예상대로 개구부가 클수록 연기의 배출이 약간 개선됨을 나타낸다.

1부에서 개구부가 없는 경우( $r_A = 0$ )에는 급기방식의 제연성능이 다른 두 제연방식과 같았으나 개구부가 있는 경우( $r_A = 1$ )에는 제연성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 따라서 급기방식은 개구부의 유무에 따라 제연성능에 차이가 있지만, 개구부의 크기( $r_A = 1$ 과  $r_A = 3$ )에 따른 영향은 아주 작음을 알 수 있다.

급배기방식의 제연설비가 작동한 지 30초 뒤에 개구부의 크기  $r_A = 1$ 과  $r_A = 3$ 에 대한 중앙 평면( $y =$

0.5m)의 속도벡터가 Fig. 4에 나타나 있다. 급기구와 배기구에서의 풍량은  $0.75\text{m}^3/\text{s}$ 로 일정하고 이 값을 급기구 또는 배기구의 면적으로 나눈 값, 즉, 급기구와 배기구에서의 평균유속 3m/s에 해당한다. 급기구와 배기구에서의 유량이 같으므로 왼쪽 벽 아래

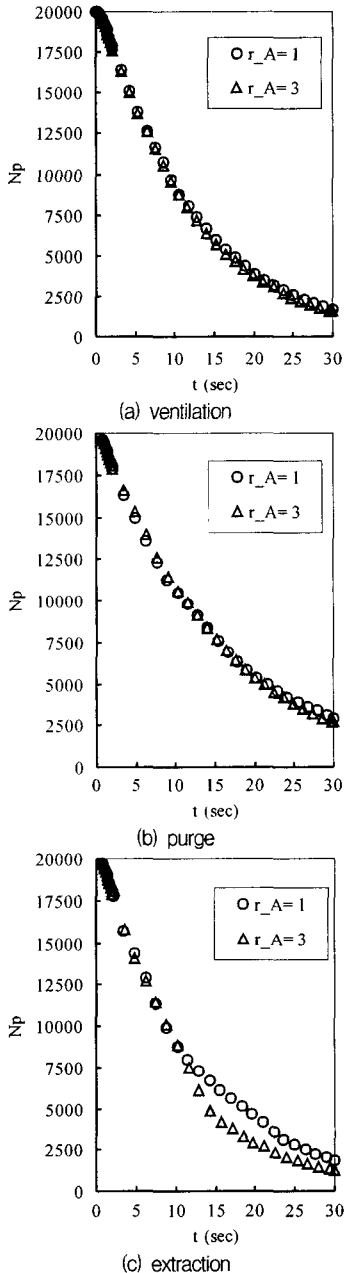


Fig. 3. Comparison of the rate of change in the number of particles for the smoke control systems

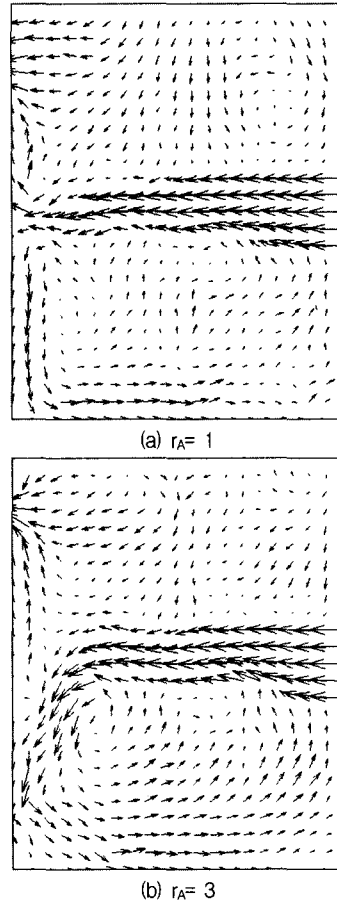


Fig. 4. Velocity vectors for ventilation system at  $y = 1\text{m}$ ,  $t = 30\text{ sec}$

쪽에 위치한 개구부를 통한 유량은 거의 없음을 알 수 있다. 이 때문에 앞의 Fig. 3a에서 확인한 바와 같이 개구부의 크기에 관계없이 제연성능이 거의 같게 된다.

Fig. 5는 급기방식의 경우에 개구부의 크기에 따른 속도벡터를 비교한 그림이다. 두 개구부의 경우 모두 비슷한 유동형태를 나타내고 있다. 급기구로 들어온 공기는 배기구 뿐만 아니라 개구부로도 배출됨을 알 수 있다. 그러나 왼쪽 벽의 아래쪽 개구부와 위쪽 배기구 근처의 벡터에 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 개구부가 큰 경우( $r_A=3$ )에는 개구부가 작은 경우( $r_A=1$ )에 비해 개구부를 통해 밖으로 나가는 유량은 많지만, 또 하나의 개구부 역할을 하는 배기구로 배출되는 유량은 적음을 볼 수 있다. 이 유동형태는 개구부의 위치가 본 연구의 위치와 다를 때 제연성능이 달라질 수 있음을 암시한다.

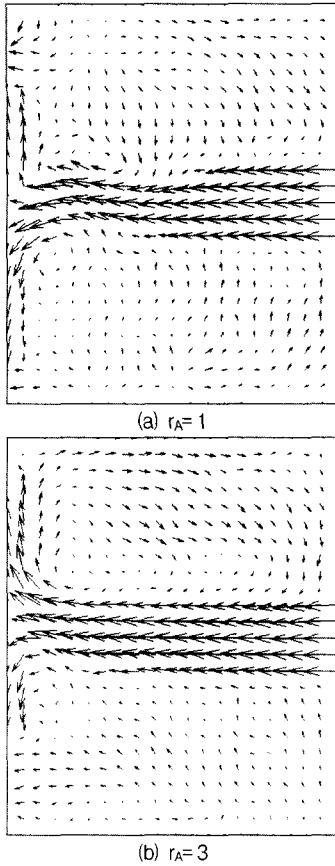


Fig. 5. Velocity vectors for purge system at  $y=1m$ ,  $t=30sec$

배기방식의 경우에  $y$ 축 중심면의 속도벡터를 Fig. 6에 나타내었다. 개구부로부터 유입된 공기가 급기구를 통해 들어온 공기와 함께 공간내를 돌아 배기구로 배출된다. 개구부의 크기가 큰 경우에 더 많은 공기가 개구부를 통해 유입된다. Fig. 4c에서 개구부가 클 때 제연성능이 상승한 것은 개구부를 통해 유입된 공기 때문이다.

개구부의 크기  $r_A=1, 2, 3$ 에 대한 세가지 제연방식의 입자수 변화를 Fig. 7에 비교하였다. 세가지 개구부의 크기에서 모두 급배기방식과 배기방식은 비슷한 감소율을 보인 반면에 급기방식은 이 두가지 제연방식에 비해 제연성능이 떨어지는 것으로 나타났다. 이것은 급기구로 들어온 공기가 배기구와 개구부로 나뉘어 배출되면서 실내의 연기입자를 효과적으로 배출하지 못하기 때문으로 보인다.

$t=30 sec$ 에서 세가지 개구부의 크기에 따른 각 제연방식의 실내 입자수는 Table 1과 같다. 입자수

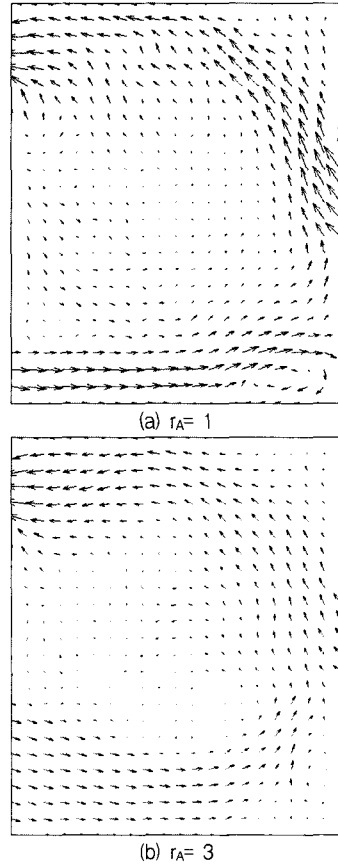
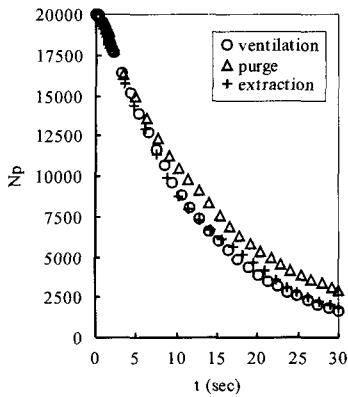


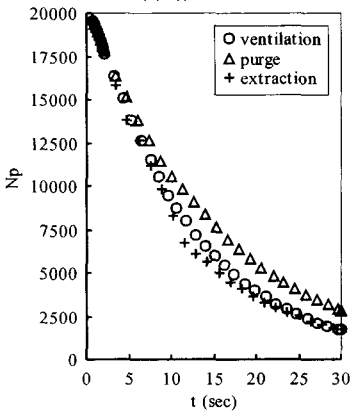
Fig. 6. Velocity vectors for extraction system at  $y=1m$ ,  $t=30sec$

는 개구부가 클수록 적고, 세가지 제연방식 중에서 급기방식의 제연성능이 떨어짐을 확인할 수 있다. 개구부의 크기가 급기구 면적의 3배( $r_A=3$ )이고 배기방식의 제연설비가 사용될 때 가장 적은 수의 입자가 실내에 남은 것으로 나타났다.

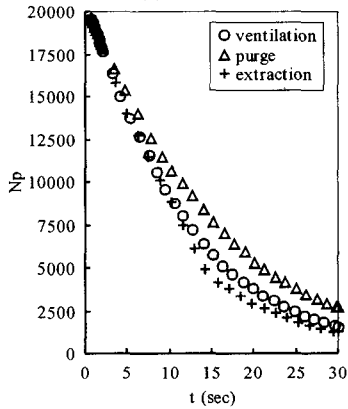
이상과 같이 연기가 개구부가 있는 실내에 유입되었을 때 제연방식과 개구부의 크기에 따른 제연을 조사했으나, 화재실과 같이 연기층이 공간의 상부에 위치한다면 제연성능이 달라질 수 있다. 또 급기구와 배기구, 개구부의 위치에 따라 제연성능이 영향을 받을 것이다. 화원과 피난로의 위치, 급기구와 배기구, 개구부의 위치가 제연에 있어 중요하다. 그러므로 본 연구에서 등은 유동장에 무작위로 분포한 입자의 조사를 통해 얻은 결과를 실제 화재모사로 확인할 필요가 있다. 화재로 발생한 연기가 부력으로 천장에 연기층을 형성하였을 때, 개구부의 크기뿐만 아니라 급기구와 배기구의 크기와 위치에 따른 제연성능에 대한 연구가 필요하다.



(a)  $r_A = 1$



(b)  $r_A = 2$



(c)  $r_A = 3$

Fig. 7. Comparison of the rate of change in the number of particles for the areas of the opening

Table 1. Number of particles in the room at  $t = 30\text{sec}$

	ventilation	purge	extraction
$r_A = 1$	1696	2956	1892
$r_A = 2$	1685	2840	1711
$r_A = 3$	1567	2694	1240

#### 4. 결론

개구부의 크기  $r_A = 1, 2, 3$ 에 대하여 급배기방식과 급기방식, 배기방식의 세가지 제연방식에 의한 실내 유입 연기의 배출을 수치법으로 조사한 결과 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 개구부의 크기가 제연성능에 미치는 영향은 크지 않았다.
- 2) 개구부의 크기가 증가할 때 제연성능이 약간 개선되었고, 특히 배기방식의 경우에 제연성능이 더 개선되는 것으로 나타났다.
- 3) 세가지 개구부의 크기에서 모두 급기방식의 제연성능이 다른 두 방식에 비해 낮음을 알 수 있었다.

#### 참고문헌

- 1) J. Smagorinsky, General Circulation Experiments with the Primitive Equations - I. The Basic Experiment, Monthly Weather Review, Vol. 91, pp. 99-164, 1963.
- 2) 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.