

자연환기 벤탈레이터 형태에 따른 환기효율 평가

하 현 철[†], 김 태 형

창원대학교 환경공학과

Evaluation of Ventilation Efficiency for Various Gravity Ventilators

Hyun-Chul Ha[†], Tae-Hyeung Kim

Department of Environmental Engineering, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

(Received March 4, 2002; revision received May 21, 2002)

ABSTRACT: Gravity ventilators allow the escape of the warm air and air contaminants due to both (either) buoyancy and (or) convection. As a natural ventilation strategy, various gravity ventilators can be installed on the roof. Ventilation efficiency could be affected by various parameters, such as, area of openings, wind velocity and incidence angle, temperature difference between inside and outside, and shape of ventilator. Especially, the shape of roof gravity ventilator might be one of influencing factors for the effective ventilation. The window type gravity ventilators are frequently installed instead of general (standard) gravity ventilator. However, the ventilation efficiencies of them were not proved yet. To compare the ventilation efficiency, general type ventilator and two window type ventilators were numerically tested. Mean age of air, temperature and CO concentration were predicted by using commercial CFD code, AIRPAK (Ver. 2.0) with various conditions. The predicted result showed that general type ventilator is more effective for natural ventilation than window type ventilators.

Key words: Natural ventilation(자연환기), Gravity ventilator(자연환기 벤탈레이터), Computational fluid dynamics(전산유체역학), General ventilation(전체환기)

1. 서 론

사업장에서 작업환경을 개선하기 위한 대책 중 가장 손쉽게 적용할 수 있는 것이 공학적 대책인 환기시설을 설치하는 것이다. 산업환기(Industrial ventilation) 시설은 설치 방법에 따라 전체환기(General ventilation)와 국소배기(Exhaust ventilation)로 대별되고, 전체환기는 송풍기 사용 유·무에 따라 강제환기(Forced ventilation)와 자연환기(Natural ventilation)로 구분한다.⁽¹⁾

국소배기 시설은 오염원에서 직접 유해물질을 배기시키기 때문에 적은 유량으로도 충분한 작업환경 개선효과를 거둘 수 있어 가장 효율적인 환기방법이지만, 이동성이 강하거나 작업장 전체가 오염원인 경우에는 후드를 설치할 수 없어 차선책으로 전체환기를 실시한다. 전체환기에 의해 작업환경을 개선하기 위해서는 많은 양의 배기유량이 필요한데, 강제환기를 실시할 경우 송풍기 가동에 따른 소음과 높은 에너지 비용이 발생하는 문제가 있어 열원이 있는 작업장뿐만 아니라 열원이 없는 작업장에도 자연환기 벤탈레이터를 설치하여 전체환기를 실시하는 경우도 있다.

자연환기력은 기본적으로 풍력과 부력에 의해 좌우되기 때문에 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷한 경우 작업장 내부조건이 동일하더라도 외기온

[†] Corresponding author

Tel.: +82-55-279-7945; fax: +82-55-281-3011

E-mail address: cfdace@hanmail.net

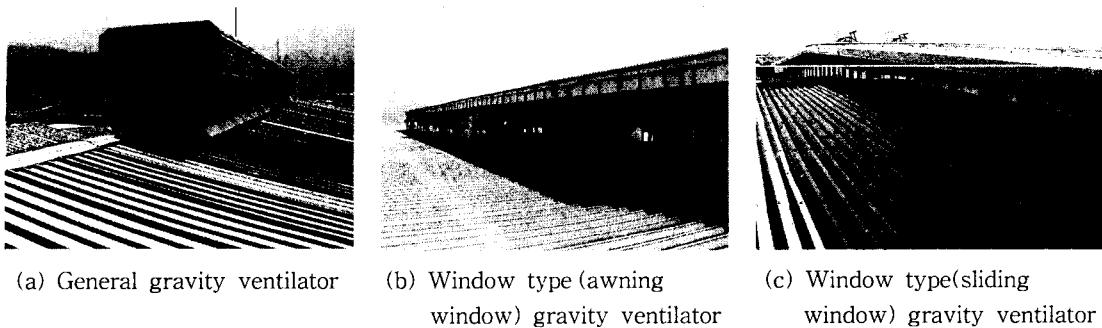


Fig. 1 Three types of gravity ventilators used in this study.

도가 낮은 겨울철이 여름철보다 자연환기력이 크지만, 추위 때문에 창문을 닫아 두면 겨울철에 오히려 환기효율이 저하될 수도 있다. 이처럼 자연환기는 풍력과 부력뿐만 아니라, 개구면 위치와 면적, 벤탈레이터 형태, 작업장 내부 배치, 주위건물 배치, 건물 높이 등 매우 많은 인자에 의해 영향을 받기 때문에, 충분한 환기효과를 거두기 위해서는 이를 영향인자에 대한 충분한 검토가 있어야 하지만, 그에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.⁽²⁻⁴⁾

자연환기 벤탈레이터 형태 및 규모는 환기효율 뿐만 아니라 채광 및 외관을 고려하여 선정하게 된다. Fig. 1은 가장 흔히 설치되어 있는 일반형 벤탈레이터와 채광을 고려해서 요즘 많이 설치되고 있는 창문형 벤탈레이터의 모습이다. 일반형 벤탈레이터의 경우 작업장 내부에 열원이 있는 경우에 많이 사용되고 있고, 환기량에 대한 설계자료가 각 회사의 홍보자료에 제시되어 있으나 정확한 근거가 없고, 창문형 벤탈레이터의 경우 기류특성 및 환기효율에 대한 자료가 없어 설치 후 환기효율을 예측할 수 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 다양한 기상조건과 작

업장 내부조건에서 일반형 벤탈레이터와 창문형 벤탈레이터의 환기효율 및 환기특성을 평가하여, 가장 효율적인 자연환기 벤탈레이터 형태를 선정하고자 한다.

2. 모델 선정

자연환기 효율평가를 위해 Fig. 2와 같이 일반형 벤탈레이터와 2가지 형태의 창문형 벤탈레이터를 선정하였다. 벤탈레이터의 환기효율은 개구면적과 벤탈레이터 높이에 비례하여 증가하기 때문에^(5,6) 벤탈레이터 형태별 환기특성을 정확하게 평가하기 위해서는 벤탈레이터 개구면적과 목부분 면적을 같게 해야 한다.

벤탈레이터의 규격을 결정하기 위해 벤탈레이터 제조회사의 홍보자료를 검토한 결과, 일반형 벤탈레이터에 대한 설계자료는 모든 회사에서 거의 유사하였고, 창문형 벤탈레이터의 경우 회사마다 다른 규격이 제시되어 있었다. 벤탈레이터 제조회사의 홍보자료에 제시된 일반형 벤탈레이터의 규격을 살펴보면 목부분 면적을 기준으로 비례적으로 높이 및 너비를 결정하는데, 높이는

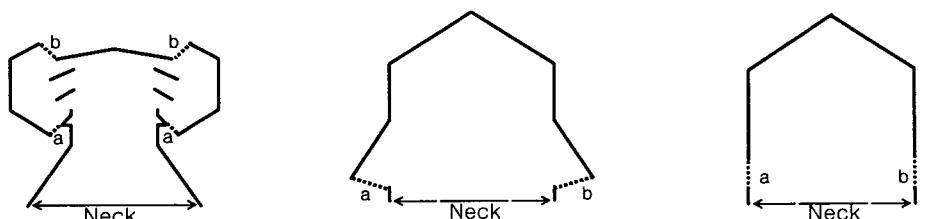


Fig. 2 Configurations of three different ventilators.

Table 1 Open and neck area for three different ventilators

Type	Open area (m^2/m)			Neck area (m^2/m)
	a	b	Total	
Type 1	0.28×2	0.42×2	1.4	
Type 2				3
Type 3	0.7	0.7	1.4	

대략 목너비의 2배 정도이다.

따라서, 본 연구에서는 일반형 벤탈레이터와 창문형 벤탈레이터의 환기효율을 비교할 수 있도록 하기 위해 Fig. 2와 Table 1에 나타낸 바와 같이 벤탈레이터 길이당 목부분 면적과 개구면 면적을 각각 $3 m^2/m$ 과 $1.4 m^2/m$ 으로 통일하였다.

3. 수치해석

작업장 내부와 실외 공기의 온도가 같은 등온 조건에서 풍향·풍속에 따른 벤탈레이터 형태별 환기효율을 평가하였다. 환기효율은 작업장 전체의 평균 공기연령(mean age of air)을 이용하였는데, 평균 공기연령은 급기구에서 급기된 후 실내 임의의 지점까지 도달되는 시간으로, 평균 공기연령이 높다는 것은 외부에서 유입된 기류가 작업장 내부에 정체되어 있다는 것을 의미하기 때문에 환기효율이 낮은 것으로 평가할 수 있다.

건물 내 어떤 지점에서의 평균 공기연령은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\tau_p = \int_0^\infty t(t) \psi dt = \int_0^\infty (1 - \Phi(t)) dt \quad (1)$$

여기서, $\psi(t)$ 는 연령빈도함수(age frequency distribution)이고, $\Phi(t)$ 는 누적연령분포(cumulative age distribution)이다. 온도차이에 의한 환기효율을 평가하기 위해 3대의 용해로가 설치된 경우 작업장 전체 내부 평균온도 및 오염물질농도를 예측하여 벤탈레이터 형태별 환기효율을 평가하였다.

3.1 수치해석 방법

자연환기 벤탈레이터 배기유량 및 유동특성을 해석하기 위해 상용 수치해석 프로그램인 AIRPAK (Ver 2.0)을 사용하였다. AIRPAK에서는 질량, 운

동량, 에너지 수송은 Navier-Stokes 방정식의 해를 이용하여 구하고, 난류유동에 대해서는 별도의 난류방정식을 이용해서 구한다. 이산화 방법으로는 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하였고, 유동장 해석을 위해서는 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure – Linked Equations) 알고리즘을 이용하였다. 난류방정식은 기존 연구에서 작업장 내부 기류예측에 있어 정확도가 입증된 표준 $k-\epsilon$ 모델을 사용하였다.⁽⁶⁾

3.2 해석모델 및 계산격자

Fig. 3과 같이 본 연구에 사용된 건물체적은 $50 m \times 25 m \times 9.5 m (L \times W \times H)$ 이고, 계산을 위한 제어체적은 $100 m \times 75 m \times 25 m (L \times W \times H)$ 이다. 건축법에서 채광과 환기를 위해 창문을 바닥면적 1/20 이상 설치하도록 되어 있기 때문에(건축법 시행령 제51조 2항), 바닥면적($50 m \times 25 m$)의 1/20인 $62.5 m^2$ 를 창문면적으로 설정하였다. 설치위치는 지상으로부터 1.5 m 지점이고, 건물 길이방향(Z축 방향)으로 모두 개방된 것으로 가정하였다.

Fig. 4는 벤탈레이터 형태에 따른 오염물질과 열 배기효율을 평가하기 위해 작업장 내부에 용

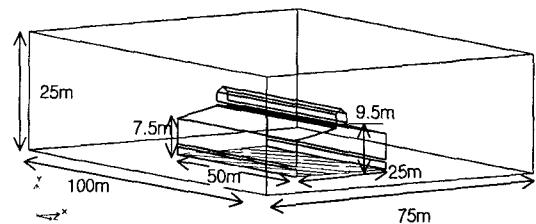


Fig. 3 Model building and control volume.

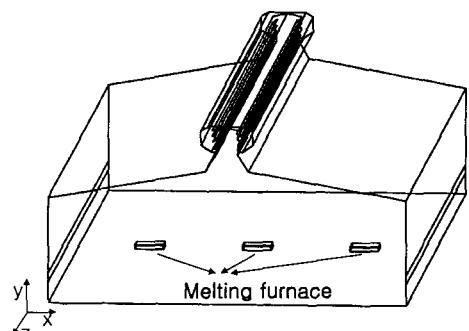
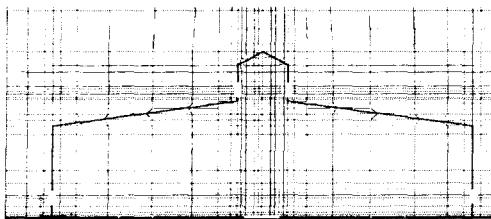
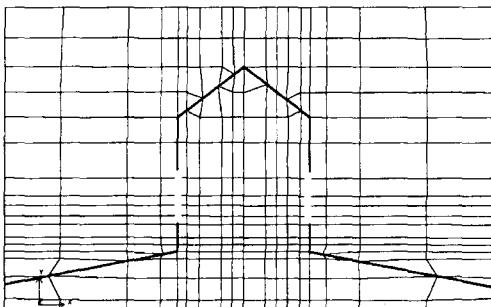


Fig. 4 Location of melting furnaces for heat and contaminant source.



(a) Whole domain



(b) Ventilator neck

Fig. 5 Mesh for numerical solution of type 3 ventilator.

해로 3대를 배치한 그림이다. 용해로의 크기는 $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0.25\text{m}$ (W×L×H)이고, 위치는 건물 중앙에 있는 용해로를 중심으로 X축 방향으로 ±6m 지점에 각각 설치된 것으로 가정하였다.

벤탈레이터를 통해 유·출입되는 기류를 정확하게 예측하기 위해서는 벤탈레이터 부분에 대한 정확한 경계조건이 필요하다. 벤탈레이터에서 발생되는 압력손실은 모형실험으로 측정하는 방법도 있지만,⁽⁶⁾ 본 연구에서는 Fig. 5와 같이 벤탈레이터의 기류가 흐르는 부분에 최소 4개 이상의 격자를 생성시켜 급격한 기류변화에 의해 발생될 수 있는 오차를 최소화하도록 하여 직접 모델링하는 방법을 택하였다. 바닥 전체를 열원으로 가정한 경우에 형상이 복잡한 Type 1(일반형)은 16만여 개, Type 2(들창형)는 13만여 개, Type 3(미닫이창형)은 11만여 개의 격자를 생성시켰고, 작업장 내부에 용해로가 있는 경우 Type 1은 28만여 개, Type 2와 Type 3은 25만여 개의 격자를 생성시켜 수치해석을 실시하였다.

3.3 경계조건 및 계산방법

수치해석을 위한 경계조건은 바람이 불어오는

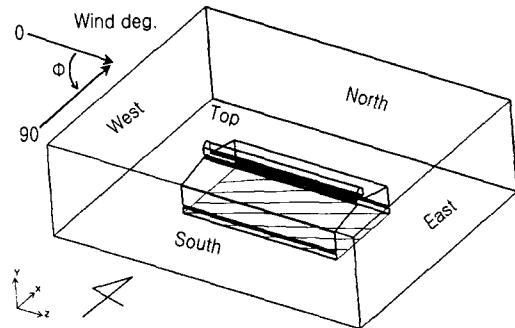


Fig. 6 Wind incidence angle for numerical simulations.

풍상지역을 inlet으로 두고 속도, 온도, 농도값을 입력하였고, 난류운동에너지와 난류에너지 소산율은 계산에 의해 구하였다. 바닥면을 제외하고 경계조건을 알 수 없는 풍하지역은 outlet으로 두고 압력경계조건(fixed pressure condition)을 주어 미지변수들의 변화량을 고려하지 않았고, 건물 및 바닥 벽면은 단열된 것으로 가정하였다.

풍향은 Fig. 6과 같이 건물을 중심으로 건물과 평행한 Z축 방향을 풍향 0°, X축 방향을 풍향 90°로 설정하였다. 수렴도를 향상시키기 위해 하향이완법(under-relaxation)을 사용했으며, 에너지를 제외한 종속변수에 대하여 임여치값이 10^{-3} , 에너지는 10^{-6} 이하에 도달되면 수렴된 것으로 간주하였고, Pentium-III 1GHz, RAM 용량 1 Gbyte P/C에서 약 4~7시간 정도의 계산시간이 소요되었다.

3.3.1 등온조건

실내·외 온도가 같은 등온조건일 때, 벤탈레이터 형태별 환기효율을 평가하기 위해 풍향과 풍속을 변화시켰다. 풍속은 바람이 거의 불지 않는 경우와 우리나라 연평균 풍속을 고려하여 0.5와 2 m/s로 구분하였다. 풍향은 건물을 중심으로 0°, 45°, 90°로 구분하였다.

3.3.2 용해로가 있는 조건

용해로와 같이 고열원에 의해 발생되는 부력이 작용할 때 환기효율을 평가하기 위해 작업장 내부에 용해로 3대를 설치하였다. 풍향각은 자연환경에 대한 기존 연구에서 환기효율이 가장 좋은 것으로 예측된 90°로 설정하였고,^(7,8) 풍속 0.5 m/s 와 2 m/s일 때, 용해로에서 발생된 열과 오염물

Table 2 Test variables and their conditions with furnace

Variables		Conditions
Temperature (°C)	Furnace	1800
	Outdoor	15
Wind speed (m/s)	0.5, 2	
Wind incidence angle (degree)	90	
CO concentration (ppm)	Furnace	500
	Outdoor	5

질을 가장 효율적으로 제어할 수 있는 벤탈레이터 형태를 찾기 위하여 작업장 전체 내부 평균온도와 오염물질 평균농도를 예측하였다. 용해로는 열뿐만 아니라 다양한 종류의 가스상 및 입자상 물질이 발생하지만, 산업보건 측면에서 가장 큰 관심이 있는 일산화탄소만 예측하였다. 전기아크로의 경우 정상운전상태에서 일산화탄소 평균배출농도는 800 ppm 이하이기 때문에 일산화탄소의 농도는 500 ppm으로 설정하였고, 용해로 표면온도는 1,800°C로 설정하였다.⁽⁹⁾ 그리고, 외기의 CO 농도는 공장지역임을 감안하여 일반 대기 중 측정농도보다 약간 높은 5 ppm으로 가정하였다. Table 2는 용해로가 설치된 조건에서의 경계조건을 정리한 것이다.

4. 결과 및 고찰

4.1 등온조건

Fig. 7은 등온조건일 경우 풍향과 풍속에 따른 작업장 내부 평균공기연령을 계산한 결과이다. 평균공기연령을 살펴보면 풍속에 상관없이 풍향 45°와 90°일 때가 건물과 평행하게 부는 0°일 때 보다 공기연령이 낮게 나타나 환기효율이 좋은 것을 알 수 있다. 등온인 경우 환기력은 풍속에 의존하므로 풍속 2 m/s일 때보다 0.5 m/s에서 공기연령이 2배 이상 증가되어 작업장 내부 체류시간이 길어지는 것으로 나타나, 작업장 내·외 온도차이가 크게 나지 않는 조립공장 같은 곳에서는 외부풍속에 의해 환기효율이 결정된다는 것을 알 수 있다. 벤탈레이터 형태별로 살펴보면, 일반적으로 풍속에 관계없이 Type 1과 Type 3에 비해 Type 2의 공기연령이 높아 환기효율이 나쁜 것으로 나타났다. 그리고, 풍향 0°에서는 일반형

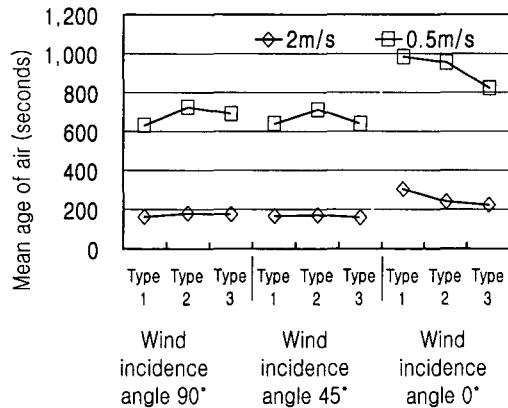


Fig. 7 Mean age of air with different wind incidence angle and ventilator type.

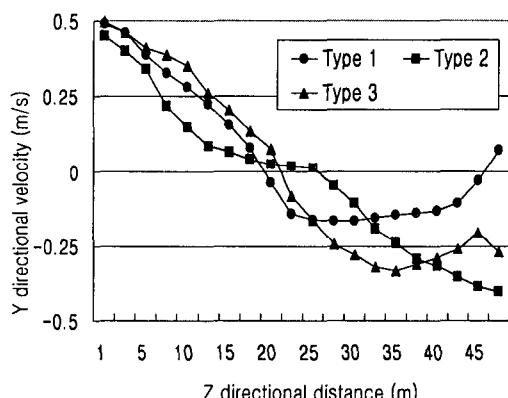


Fig. 8 Flow direction of ventilator neck with wind incidence angle 0° and wind speed 2 m/s.

벤탈레이터인 Type 1이 창문형 벤탈레이터보다 환기효율이 좋지 못한 것으로 나타났다.

Fig. 8은 풍향 0°, 풍속 2 m/s일 때 벤탈레이터 목부분 기류를 정리한 것으로 풍속이 음(−)인 것은 외기가 작업장 내부로 유입되는 것을 의미한다. Type 1에 비해 Type 2와 Type 3에서 외기유입속도가 빠르게 나타나 외기유입량이 많은 것을 알 수 있다. 건물과 평행하게 바람이 불 경우 일반형 벤탈레이터에 비해 구조가 간단한 창문형 벤탈레이터로 외기가 쉽게 유입되어 작업장 내부 공기연령이 낮아진 것으로 판단된다.

Fig. 9는 같은 창문형 벤탈레이터 임에도 창문형태에 따라 환기효율차이가 크게 나는 원인을 알아보기 위해 풍속 2 m/s, 풍향 90°일 때, Type

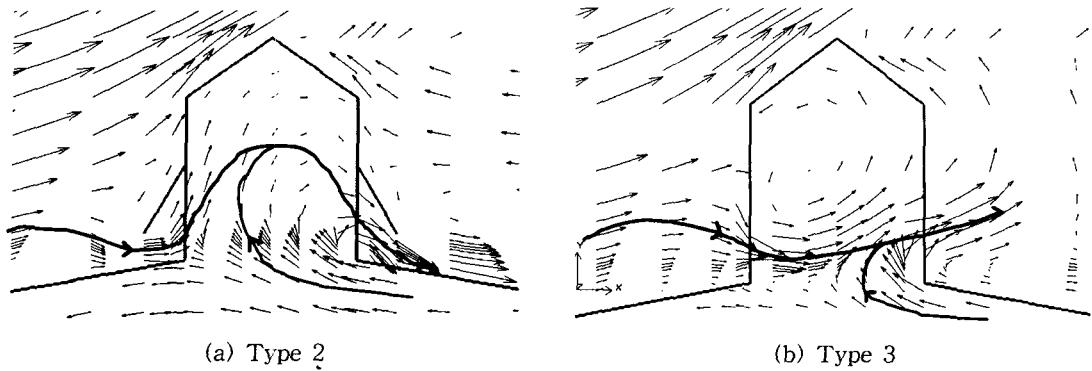


Fig. 9 Flow vectors for window type ventilators (wind speed 2 m/s, wind incidence angle 90°, Z=25 m).

2와 Type 3의 벤탈레이터 목부분 벡터를 나타낸 것이다. Type 2의 경우 창문이 안내 날개 역할을 하여 외기가 벤탈레이터 내부에서 크게 와류를 형성하기 때문에 작업장 내부공기를 원활하게 배기시키지 못하고 있다. 하지만, Type 3의 경우 벤탈레이터에 창문과 같은 방해물체가 없기 때문에 벤탈레이터 개구면으로 유입된 외기가 작업장 내부공기와 함께 반대편 개구면으로 비교적 원활하게 유출되는 것을 볼 수 있다. 즉, 벤탈레이터에 설치된 창문이 외기의 원활한 흐름을 방해하기 때문에 Type 2가 Type 3보다 환기효율이 낮아지는 것으로 판단된다.

4.2 용해로가 있는 조건

4.2.1 온도제어효율

Fig. 10은 풍속에 따른 작업장 평균온도인데, 벤탈레이터 형태에 상관없이 풍속 0.5 m/s일 때 보다 2 m/s일 때 오히려 작업장 온도가 높아지는

것을 알 수 있다. 이는 풍력만 작용했을 때 작업장 평균공기연령을 예측한 Fig. 7과는 상반된 결과이다. 하지만, 작업장 평균온도는 Type 1, Type 3, Type 2의 순서로 낮아 열 배기효율이 높은 것으로 예측되어 동온조건일 때와 일치한 결과를

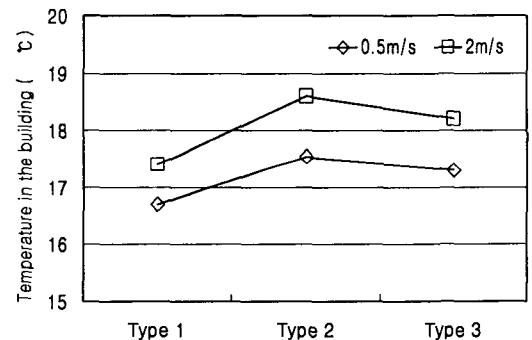


Fig. 10 Mean temperature in the building with different ventilator types and wind speeds.

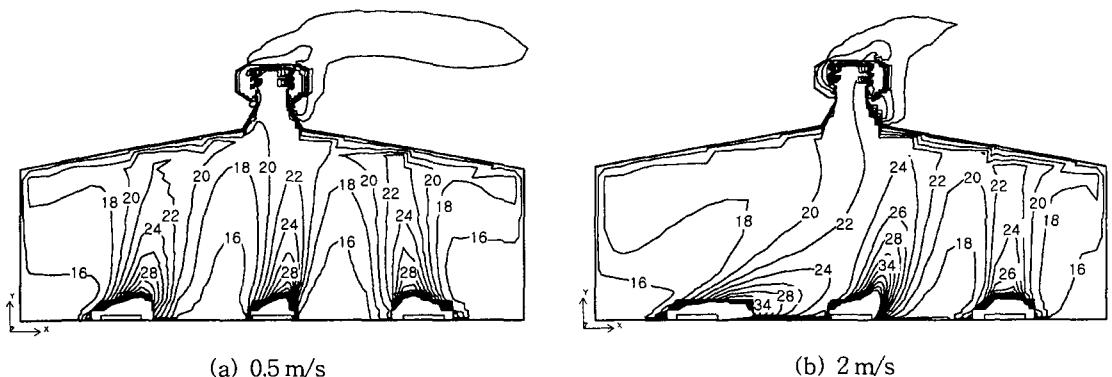


Fig. 11 Temperature contour in the building with different wind speeds (Type 1 ventilator (Z=25 m)).

얻을 수 있었다.

풍속이 증가할수록 작업장 평균온도가 상승하는 현상을 알아보기 위해 Fig. 11과 같이 열 배기효율이 가장 좋은 Type 1 벤탈레이터의 Z방향 25m 단면에서 풍속에 따른 등온도선을 비교해보았다. 풍속이 0.5 m/s일 때 풍상과 풍하 방향의 등온도선을 살펴보면 거의 대칭형으로 되어 있는 것을 알 수 있다. 즉, 0.5 m/s에서는 풍력보다는 부력에 의해 지배적인 영향을 받고, 용해로에서 발생된 고온의 공기가 벤탈레이터를 통해 원활하게 배출되는 것을 알 수 있다. 하지만, 풍속 2 m/s에서의 등온도선을 살펴보면 풍상 방향보다 풍하 방향의 온도가 훨씬 높은 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 용해로에서 발생된 고온의 공기가 창문을 통해 유입된 기류에 의해 풍하 방향 천장부근으로 밀려났기 때문이다. 천장 부근에 정체된 기류가 벤탈레이터를 통해 배기되지 못하고 천장 부근에서 작업장 전체로 확산되기 때문에 풍속 2 m/s일 때 오히려 작업장 내부 평균온도가 상승되는 것으로 판단된다.

실제 작업자가 위치한 곳에서 온도를 평가해보면, 원활한 상승기류가 형성된 풍속 0.5 m/s에서는 16°C 정도로 외기와 큰 차이가 없지만, 풍속 2 m/s에서는 25°C 이상 상승하여, 작업장 내부에 고온의 열원이 있는 경우에는 창문으로 유입되는 기류속도가 빠를수록 온도제어효율이 저하되는 것으로 나타났다.

4.2.2 오염물질 제거효율

Fig. 12는 작업장 내부 평균 일산화탄소(CO) 농도를 나타낸 것인데, 작업장 내부 평균온도분포와 마찬가지로 풍속이 증가할수록 평균 CO 농

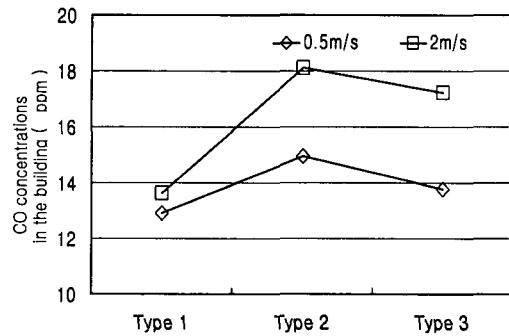
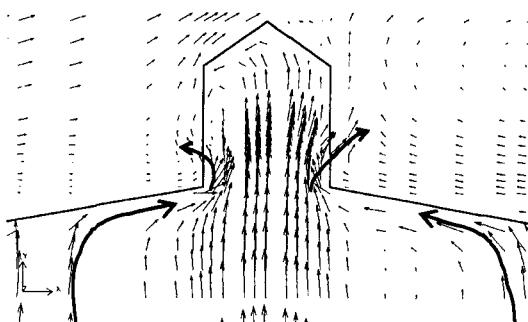


Fig. 12 Mean CO concentrations in the building with different ventilator types and wind speeds.

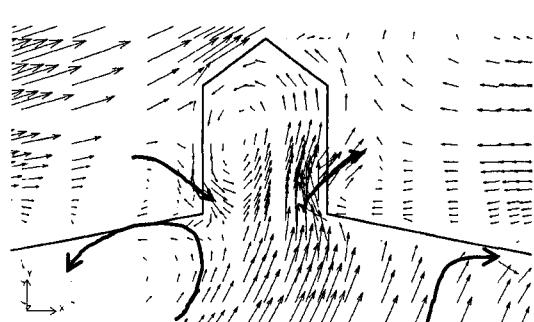
도가 증가하는 것으로 예측되었다. 오염물질발생과 환기량이 정상상태일 때 작업장 내부 CO 농도는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$C \left[\text{mg/m}^3 \right] = \frac{(G - G_{out}) [\text{mg/min}]}{Q [\text{m}^3/\text{min}]} \quad (2)$$

여기서, C 는 작업장 내부 오염물질농도, G 는 오염물질발생량, G_{out} 은 벤탈레이터 또는 창문을 통한 오염물질배출량, 그리고, Q 는 환기량이다. CO 발생량(G)은 풍속변화에 상관없이 일정하기 때문에 CO 농도는 배출량(G_{out})과 환기량(Q)에 따라 변하게 된다. 풍속 0.5 m/s일 때는 환기량은 적지만, 상승기류를 따라 배출되는 배출량이 많고, 풍속 2 m/s로 증가하면 환기량은 증가하지만 창문으로 유입된 기류의 방해작용에 의해서 배출량이 줄어들게 된다. 고농도의 오염물질이 발생



(a) Wind speed 0.5 m/s



(b) Wind speed 2 m/s

Fig. 13 Flow vectors for type 3 ventilator with different wind speeds ($Z=25\text{ m}$).

될 경우 환기기에 의해 농도를 저감시키기 위해서는 매우 많은 유량이 필요한 것을 감안한다면, 오염물질의 배출량을 증가시키는 것이 환기량을 증가시키는 것보다 훨씬 효율적이다. 이러한 이유 때문에, 환기량은 적지만 배출량이 상대적으로 큰 0.5 m/s에서 작업장 내부 평균 CO 농도가 환기량이 큰 2 m/s보다 낮게 예측된 것으로 판단된다. 그리고, 특이한 것은 Type 1은 외기풍 속 증가에 따른 CO 농도 증가가 크지 않지만, 창문형 벤탈레이터의 경우 풍속 증가에 따른 CO 농도 증가가 크게 발생되고 있는 것을 알 수 있다.

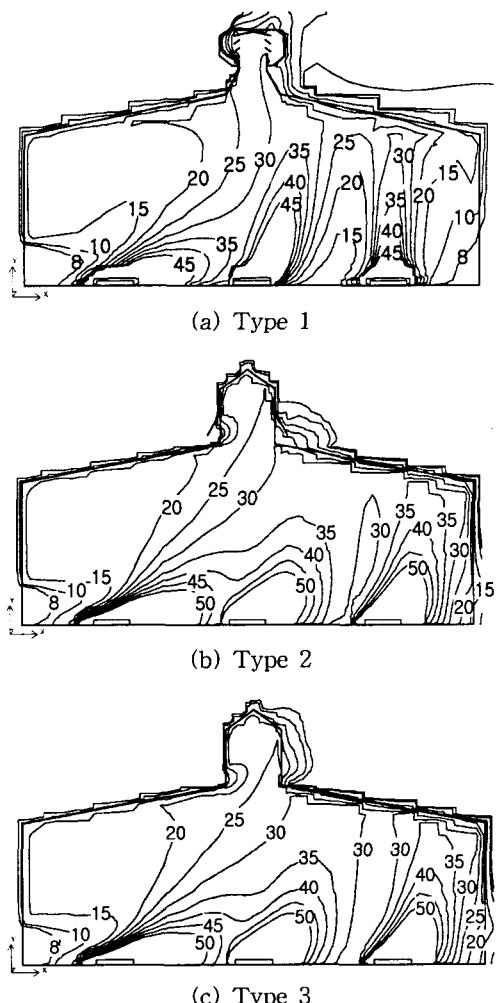


Fig. 14 CO concentrations contour in the building with different ventilator types (wind speed 2 m/s ($Z=25$ m)).

Fig. 13은 풍속 증가에 따른 CO 농도 상승현상을 알아보기 위해 Type 3 벤탈레이터의 Z 방향 25 m 지점에서의 속도 벡터를 나타낸 것이다.

벤탈레이터 개구면에서의 벡터를 살펴보면, 풍속이 0.5 m/s일 때는 부력에 의해 상승된 작업장 내부 기류가 원활하게 벤탈레이터 양쪽 개구면을 통해 작업장 외부로 배출되고 있지만, 풍속이 2 m/s일 때는 바람이 불어오는 쪽 벤탈레이터 개구면에서 작업장 외부기류가 작업장 내부로 유입되는 것을 알 수 있다. 실제 벤탈레이터 개구면에서 유속을 측정해 본 결과, 풍속 0.5 m/s에서는 풍상, 풍하 방향에서 각각 0.23 m/s, 0.44 m/s로 배기되지만, 풍속 2 m/s에서는 풍상에서 0.21 m/s로 유입되고, 풍하 방향에서는 0.72 m/s로 유출되는 것을 알 수 있었다. 즉, 외기풍속이 0.5 m/s에서 2 m/s로 증가될 때 작업장 내부공기의 배출량은 약 25% 정도 감소되면서 CO 농도가 크게 증가되는 것으로 나타났다.

Fig. 14는 풍속 2 m/s일 때 Z 방향 25 m 단면에서의 CO 등농도선을 나타낸 것인데, Type 2와 Type 3은 좌측과 중앙 용해로 사이 바닥 부근에서 작업환경 기준⁽¹⁰⁾인 50 ppm을 초과하고 있지만, 같은 지점에서 Type 1의 CO 농도는 50 ppm 이하에 머물러 있어, 일반형 벤탈레이터의 환기효율이 창문형 벤탈레이터보다 뛰어나 작업자 호흡영역을 보호해 줄 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결 론

공장 지붕에 설치되는 자연환기 벤탈레이터의 환기특성과 효율을 평가하기 위해 일반형 벤탈레이터와 2가지 형태의 창문형 벤탈레이터를 선정하여 환기효율을 평가하였다. 작업장 내부조건에 상관없이 일반형 벤탈레이터(Type 1)가 창문형 벤탈레이터(Type 2, Type 3)보다 환기효율이 높아 환기를 목적으로 할 경우 적합한 형태인 것으로 예측되었다. 특히, 작업장 내부에 고열원의 오염원이 있는 경우에는 반드시 일반형 벤탈레이터를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 작업장 내부에 큰 오염원이 없어 많은 환기량이 필요없을 경우 창문형 벤탈레이터를 설치하여 채광과 환기를 동시에 달성하고자 할 때는 들창형(Type 2)보다는 미닫이 형(Type 3) 벤탈레이터를 설치하는 것이 효율적인 것으로 예측되었다.

참고문헌

1. ACGIH, 2001, Industrial Ventilation – A Manual of Recommended Practice, 25th ed., ACGIH, Ohio, pp. 2.1-2.17.
2. Boulard, T., Kittas, C., Papadakis, G. and Mermier, M., 1998, Pressure field and air-flow at the opening of a naturally ventilated greenhouse, *J. Agric. Engng.*, Vol. 71, pp. 93-102.
3. Papadakis, G., Mermier, M., Meneses, J. and Boulard, T., 1996, Measurement and analysis of air exchange rates in a greenhouse with continuous roof and side openings, *J. Agric. Engng.*, Vol. 63, pp. 219-228.
4. Yuguo, L. and Angelo, D., 2001, Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces, *Building and Environment*, Vol. 36, pp. 59-71.
5. Mistriotis, A., Arcidiacono, C., Picuno, P., Bot and Scarascia Mugnozza, 1997, Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero and low wind speeds, *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 88, pp. 121-135.
6. Shinsake, K., Shuzo, M., Takeo, T. and Tomochika, G., 1997, Chained analysis of wind tunnel test and cfd on cross ventilation of large scale market building, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 67 & 68, pp. 573-587.
7. Ha, H. C., Jung, Y. J. and Kim, T. H., 2002, Estimation of Ventilation rates for General Gravity Ventilator, *J. Korea Soc. Occup Environ Hyg.*, Vol. 12, pp. 27-34.
8. Ha, H. C. and Kim, T. H., 2002, Characteristics of Ventilation Efficiency for Various Gravity Ventilators, *J. Korea Soc. Occup Environ Hyg.*, Vol. 12, pp. 35-45.
9. EPA, 1992, Air pollution engineering manual, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 666-673.
10. Ministry of Labor, Notification No. 97-65, Threshold limit values for chemical substances and physical agents in the work environment.