

너비 및 높이 변화에 따른 일반형 자연환기 벤틸레이터 배기유량 산정

하 현 철[‡] · 김 태 형

창원대학교 환경공학과

Estimation of Ventilation Rates for General Gravity Ventilator with Width and Height

Hyun-Chul Ha[‡] · Tae-Hyeung Kim

Department of Environmental Engineering Changwon National University

As a strategy of natural ventilation, the standard type of general gravity ventilator can be installed on the roof of an industrial building. The modified shape of ventilator with different width and/or height ratio was often used for improving ventilation efficiency and assuring structural safety concern. Although the ventilation rates could be affected by different ventilator width and/or height, the design data of appropriate ventilation rate have not been established yet. In this study, the ventilation rates of both standard and modified gravity ventilator were thus estimated for the purpose of comparison of ventilation efficiencies. For the standard gravity ventilator, the factorial combinations of 4 parameters (3 wind directions, 6 wind speeds, 5 temperature differences and 3 ventilator neck widths) which consist of 270 cases, were simulated. Additionally, for the modified gravity ventilator, the factorial combinations of 5 parameters (3 wind directions, 5 wind speeds, 3 temperature differences, 3 ventilator neck

widths and 2 modified ventilator heights) which result in 270 cases, were simulated. A commercially available CFD code, FLUENT(Ver. 6. 0) package, was used to estimate the ventilation rates numerically. It was found from the thorough analyses that the ventilation performance were enhanced as ① wind direction is close to the latitudinal direction of industrial building, ② wind speed increases, ③ the temperature difference between the exterior and interior of a building increases and ④ ventilator neck is wider. The flow rate of low height ventilator is lower than that of standard height ventilator while the flow rate of taller ventilator was not increased proportionally. Therefore, standard ventilator is more suitable than modified ventilator for effective and safe ventilation.

Key Words: Natural ventilation, Gravity ventilator, Computational Fluid Dynamics, General ventilation

I. 서 론

자연환기는 동력을 사용하지 않고 바람에 의한 풍력과 실내·외 온도차에 의한

부력에 의해 발생하는 공기 흐름을 이용하여 작업장 내부 유해물질의 농도를 조절하는 희석환기와 작업장 내부 온·습도 조절을 목적으로 이용된다. 과도한 에너지

비용과 소음문제가 발생하는 국소배기와는 달리 자연환기는 송풍기를 사용하지 않기 때문에 에너지 비용이 전혀 필요 없고 소음문제가 발생하지 않는 장점이 있지만, 외부 기상조건과 작업장 내부 조건에 의한 환기량 변화가 크기 때문에 작업 환경을 일정하게 유지할 수 없는 단점이 있다(ACGIH, 2001). 이러한 단점을 극복

접수일 : 2003년 1월 27일, 채택일 : 2003년 4월 7일

‡ 교신저자 : 하현철 (경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과

Tel : 055-279-7945, Fax : 055-281-3011, E-mail : cfdace@hanmail.net)

하고 효율적인 자연환기력을 유지하기 위해서는 풍향·풍속, 작업장 내·외부 온도차 그리고 건물의 형태 등 다양한 인자들을 고려한 환기량 자료를 확보해야 될 필요가 있다(하현철 등 2002, Boulard et al., 1998). 하지만, 현재 벤틸레이터 제조업체에서 제시한 환기량 자료는 풍속, 온도차, 건물 높이에 대한 영향인자만 고려했을 뿐 환기량에 크게 영향을 주는 풍향에 대한 영향을 고려하지 않고 있을 뿐만 아니라 배기유량 산출근거도 불분명하기 때문에 현장에서 이 자료를 이용하지 못하고 있다.

여러 가지 벤틸레이터 형태에 따른 환기 효율을 평가한 연구에서 일반형 자연환기 벤틸레이터가 자연환기 목적에 가장 적합한 것으로 평가되었다(하현철과 김태형 2002, 하현철 2002). Figure 1은 자연환기에 있어 가장 효율이 좋은 일반형 자연환기 벤틸레이터의 모습으로, “C”는 벤틸레이터 목너비(Neck width), “D”는 개구면 너비(Opening width) 그리고 “H”는 벤틸레이터 높이(Ventilator height)를 나타내고 있다.

기존 연구에서는 벤틸레이터 목너비 1.5m인 일반형 자연환기 벤틸레이터에 대해서 풍향·풍속, 실내·외 온도차 등을 고려한 환기량 예측연구를 실시하였는데(하현철 등 2002) 환기량은 풍향이 건물과 직각방향에서 불 때, 풍속이 빠를수록, 실내·외 온도차는 클수록 증가하는 것으로 나타났다. 하지만, 이 연구결과는 벤틸레이터 목너비가 1.5m일 때의 환기량

자료이기 때문에 목너비가 1.5m보다 넓거나 좁게 설치된 벤틸레이터의 환기량은 어떻게 변화하는지를 알 수가 없어 그에 대한 연구가 필요한 실정이다.

또, 환기량 변화에 있어 벤틸레이터 높이(H)도 큰 영향을 미칠 것으로 예상되지만 이에 대한 연구도 거의 없는 실정이다. 일반형 벤틸레이터 제조회사에서 제시한 설계자료를 살펴보면, 벤틸레이터 높이(H)는 지붕과 벤틸레이터 사이에 뚫려 있는 개구면 너비(D)의 약 1.1배로 설정되어 있다(Sungsan engineering, ventilator manufacturing catalog). 현장에 설치된 벤틸레이터를 살펴보면, Figure 2와 같이 벤틸레이터 높이가 개구면 너비(D)의 1.1배로 설계 자료와 같게 설치된 것도 있지만, Figure 3과 같이 벤틸레이터 높이가 개구면 너비의 0.55배 밖에 되지 않는 것도 있다. 현장에 설치된 많은 벤틸레이터는 Figure 3과 같이 설계에 제시된 기준보다 낮게 설치되어 있는데, 높이가 낮은 벤틸레이터를 설치하는 이유는 태풍 시 안전상의 문제나 초기 설치비용 부담 등과 관련이 있다.

Figure 3과 같이 벤틸레이터 높이가 낮게 설치될 경우 환기량 감소가 우려되지만, 그에 대한 연구는 전혀 이루어지지 않고 있는 실정이다. 또 환기량을 증가시킬 목적으로 벤틸레이터 높이를 표준보다 높게 설치할 경우에도 환기량이 얼마만큼 증가하는지에 대한 연구가 없다.

따라서, 본 연구에서는 풍향·풍속, 실내·외 온도차 등을 변화시켜 컴퓨터 시

뮬레이션을 통해 표준규격을 가진 일반형 벤틸레이터의 목너비(C)에 따른 환기량과 높이(H)가 변형된 벤틸레이터의 환기량을 예측해 보고자 한다. 일반형 자연환기 벤틸레이터에 대한 정확한 환기량 평가가 이루어진다면 자연환기를 실시하고자 하는 현장에 환기량을 예측하는데 많은 도움을 줄 수 있고, 환기량과 설치비를 비교해서 자연환기 적용 가능성을 평가하는데도 유용한 자료로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

II. 연구방법

1. 수치 해석 모델

1) 벤틸레이터 모델 규격

Figure 4는 본 연구에 적용된 벤틸레이터의 높이별 형상을 개략적으로 정리한 것이다. 표준형 자연환기 벤틸레이터의 규격은 Figure 4에 표시된 목너비 “C”를 기준으로 벤틸레이터 높이($H=G+F$)와 개구면 너비(D)가 결정되는데, 일반적으로 높이(H)는 “C”의 2.25배, 개구면 너비는 2배 정도이므로 “C”가 클수록 개구면 너비와 높이가 비례적으로 증가한다. 하지만, 현장에서는 다양한 이유에 의해 목너비와 벤틸레이터 높이가 설계기준과 다르게 설치되는 경우가 많이 있다. 따라서, 본 연구에서는 표준 치수(Standard dimension)를 가지는 표준형 벤틸레이터와 높이와 너비가 변형된 치수(Modified dimension)

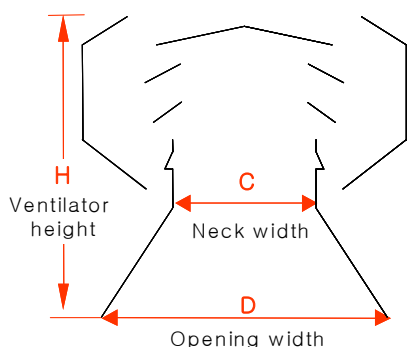


Figure 1. The schematic diagram of general gravity ventilation.

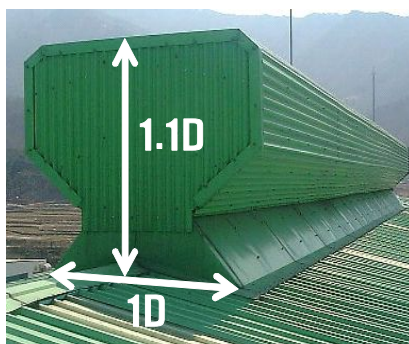


Figure 2. Gravity ventilator installed with standard dimension.

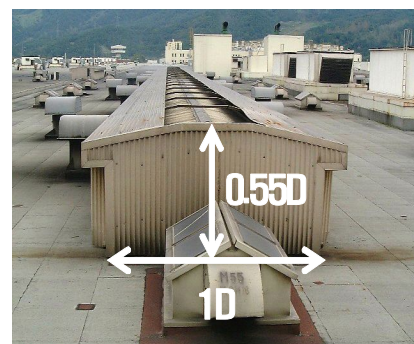


Figure 3. Gravity ventilator installed with half height of standard dimension.

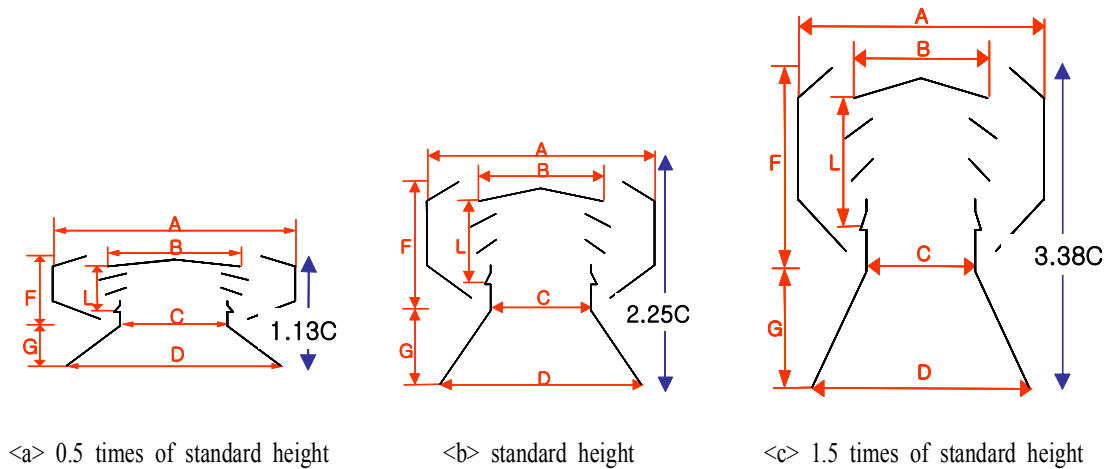


Figure 4. The schematic diagram of general gravity ventilation by height.

를 가지는 벤틸레이터의 환기효율을 평가하기 위해 다양한 풍향·풍속과 온도차에 따른 환기량을 예측하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 벤틸레이터 모델의 치수를 정리한 것으로, 벤틸레이터 높이는 표준형, 표준형의 0.5배와 1.5배 등 3가지로 구분하였고, 각 높이별로 폭너비도 1.2m, 1.5m, 그리고 1.8m 등 3가지로 선택하여 총 9가지 모델에 대한 환기량 평가를 실시하였다.

2) 제어체적

본 연구에 사용된 수치해석 모델은 기존 연구(하현철 등 2002)와 같이 작업장 체적($L \times W \times H$)을 $50\text{m} \times 25\text{m} \times 7.5\text{m}$ 로 정하였다. 공장 높이는 크레인이 없는 경우로 가정하여 7.5m, 창문 면적은 건축법 시행령 제 51조 2항에서 건물 바닥면적의 1/20으로 권장하고 있어 본 연구에서도 바닥면적

$1,250\text{m}^2$ 의 1/20인 62.5m^2 으로 설정하였다. 계산 제어체적(Control volume)을 설정할 때는 건물 주위에서 발생하는 기류 흐름에 의한 영향을 최소화해야 된다. 이를 위해서는 제어체적을 크게 설정하는 것이 좋는데, 제어체적이 클 경우 계산시간이 길어지는 문제가 발생한다. 제어체적에 따라 계산결과를 비교·분석한 하현철(2002)의 기존 연구결과에 따라 Figure 5(a)과 같이 제어체적($L \times W \times H$)을 $120\text{m} \times 95\text{m} \times 30\text{m}$ 로 설정하였다. 제어체적이 창문을 포함할 경우에는 창문으로 유입된 바람에 의해 작업장내부 기류 흐름이 많은 영향을 받고, 창문의 위치에 따라 환기량 변화가 크기 때문에 본 연구에서는 창문의 영향을 배제하기 위해 Figure 5(b)와 같이 창문을 제외하고 제어체적을 형성하였다.

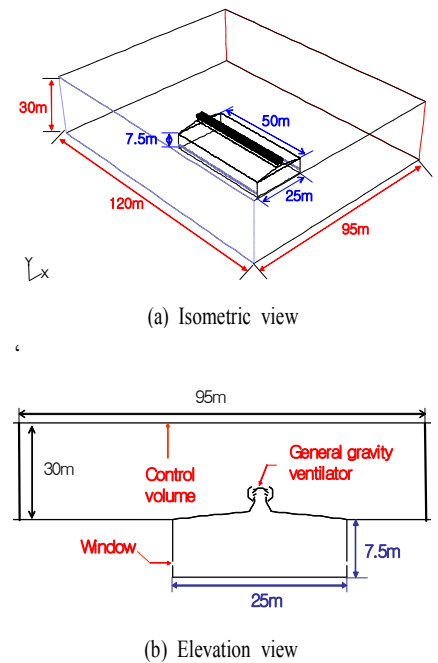


Figure 5. Domain and control volume for numerical calculation.

Table 1. The dimensions of general gravity ventilator by height

(mm)

	0.5 times of standard height			standard height			1.5 times of standard height		
C	1,200	1,500	1,800	1,200	1,500	1,800	1,200	1,500	1,800
A	2,880	3,600	4,320	2,880	3,600	4,320	2,880	3,600	4,320
B	1,500	1,900	2,270	1,500	1,900	2,270	1,500	1,900	2,270
C	1,200	1,500	1,800	1,200	1,500	1,800	1,200	1,500	1,800
D	2,400	3,000	3,600	2,400	3,000	3,000	2,400	3,000	3,600
F	900	1,100	1,350	1,800	2,200	2,700	2,700	3,300	4,050
G	370	470	560	740	930	1,110	1,110	1,400	1,670
L	450	560	680	900	1,120	1,350	1,350	1,680	2,030

3) 수치해석 조건

풍향, 풍속, 실내외 온도차의 변화에 따른 환기량 예측을 위한 수치 해석 조건은 Table 2에 정리하였다.

2. 경계 조건

수치해석을 위한 경계조건은 바람이 불어오는 풍상지역을 유입조건(Inlet)으로 두고 속도, 온도 값을 입력하였고, 경계조건을 알 수 없는 풍하지역은 유출조건(Outlet)으로 두고 압력 경계조건(Fixed pressure condition)을 주어 미지 변수들의 변화량을 고려하지 않았으며, 건물 및 바닥 벽면은 단열된 것으로 가정하였다.

Figure 6은 풍향각을 나타낸 것으로 건물과 수직방향인 90°일 때는 서쪽벽에 유입조건을 주었고, 45°의 경우는 서쪽과 남쪽 벽에 유입조건을 주었다. 실내·외 온도차이에 의한 환기량 변화를 예측하기 위해 창문에 온도 조건을 주어 유입된 기류 온도에 의해 실내·외 온도 차이를 조절할 수 있도록 하였다.

3. 수치 해석 방법

본 연구에서는 상용 소프트웨어인 FLUENT 6.0(Fluent Inc., 1998)을 사용하였다. 난류 방정식들의 이산화 방법으로 유한 체적법(Finite-volume method)을 사용

하였고, 모든 수치 해석은 상류 차분 도식(Upwind differencing scheme)을 이용하여 수행하였다. 그리고 압력장을 구하기 위해 연속 방정식과 운동량 방정식을 조합시키는 방법으로 SIMPLE(Semi-Implicit Method Pressure-Linked Equations) 알고리즘을 사용하였다(이재현, 1997). 벽면과 고체 표면에서의 전단 응력은 벽함수(Wall function)를 이용하여 구하였고, 수렴성을 좋게 하기 위해 하향 이완법(Under-relaxation)을 사용하였다. 수치해석에 필요한 기본 방정식이 비선형이므로 반복에 의한 해의 수렴이 필요하고, 반복 계산시 종속변수들의 수렴정도를 점검하기 위하여 잉여치(Residual) R 값을 체크하면서 잉여치가 10^{-3} 이하에 도달하면 수렴된 것으로 간주하였다.

$$\max |\varphi^{n+1} - \varphi^n| \leq 10^{-3} \quad (1)$$

제어체적 및 작업장 형성에 사용된 격자수는 총 240,000 ~ 280,000개이고, Figure 7과 같이 사면체(Tetrahedron) 구조의 비정규 격자계(Unstructured grids)를 채택하여 실제 벤틸레이터 모양과 거의 유사하게 형상화시켰다.

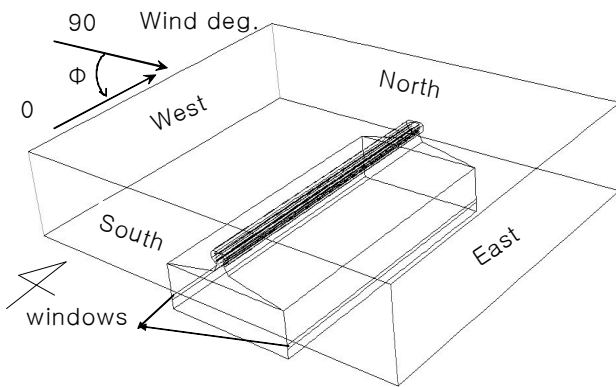


Figure 6. Boundary conditions for numerical simulation.

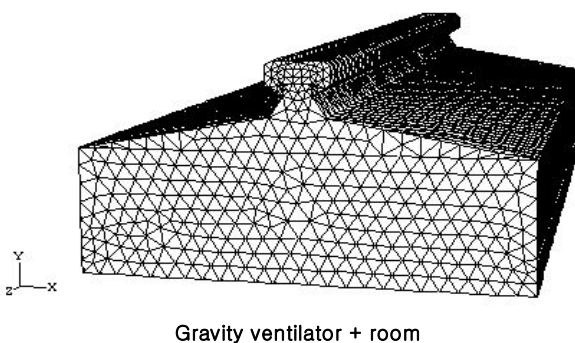


Figure 7. Schematic diagram and mesh generation of gravity ventilator.

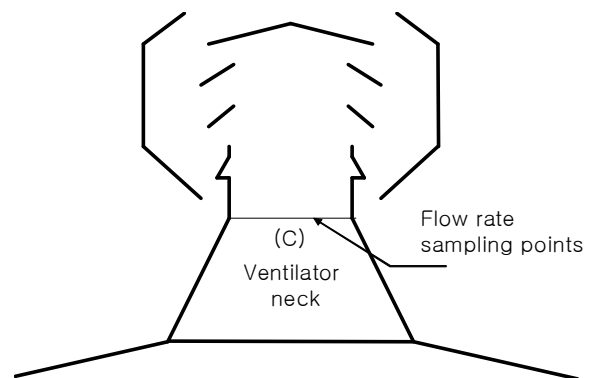


Figure 8. Velocity measurement points on the ventilator neck for the estimation of flow rates

Table 2. Numerical conditions tested in this study

Variables	Standard height	0.5 and 1.5 times of standard height
Temperature difference between indoor and outdoor(°C)	0, 5, 10, 15, 20	0, 10, 20
Wind speed(m/s)	0.5, 1.5, 2.5, 5, 7.5, 10	0.5, 1.5, 2.5, 5, 7.5
Wind direction(degree)	0, 45, 90	0, 45, 90

4. 배기유량 산정 방법

벤틸레이터 자연환기량 산정은 Figure 8에서 보는바와 같이 벤틸레이터 목부분인 “C”지점에서 가로 0.2m 간격, 세로 0.5m 간격으로 총 700지점의 유속을 샘플링하여 환기량(m^3/s)으로 나타내었다.

III. 결과 및 고찰

1. 배기유량 산정 결과

Table 3에 작업장 내부조건(실내외 온도차)과 주변 기상조건(외기 풍속, 풍향)에 따른 일반형 자연환기 벤틸레이

터의 환기량을 산출한 결과를 나타내었다. Table 4와 Table 5는 각각 높이가 표준형의 0.5배와 1.5배 일 때 자연환기 벤틸레이터의 환기량을 산정한 결과이다. 자연환기 벤틸레이터의 환기량은 높이에 상관없이 풍속이 빠를수록, 풍향각이 건물과 직각 방향일 때 그리고 실내·외 온도

Table 3. Calculated ventilation rates of standard model

(m^3/s)

Ventilator neck width (m)	Angle (degree)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	Wind speed(m/s)					
			0.5	1.5	2.5	5	7.5	10
1.2	0	0	1.5	7.2	12.7	26.4	40.5	55.4
		5	37.1	38.5	40.5	47.7	57.1	68.6
		10	51.1	53.4	54.8	60.8	68.8	77.6
		15	61.8	63.8	65.2	69.6	76.1	86.2
		20	69.5	72.4	73.8	77.8	83.5	90.8
	45	0	5.8	17.8	29.8	60.1	90.6	120.9
		5	37.4	37.5	41.7	66.1	94.2	123.6
		10	51.7	52.5	52.6	71.5	97.5	125.3
		15	62.1	63.6	63.1	76.2	100.3	127.0
		20	70.5	72.2	72.0	80.8	103.0	128.7
	90	0	6.4	19.6	32.8	55.9	90.5	131.7
		5	37.4	35.7	43.1	70.8	101.5	133.3
		10	51.7	50.4	52.1	75.5	104.4	134.9
		15	62.1	61.8	59.9	79.7	107.0	136.6
		20	70.8	71.5	67.6	83.2	109.3	138.3
1.5	0	0	2.6	9.5	16.5	34.8	53.6	72.9
		5	47.6	50.1	52.3	61.8	74.3	89.4
		10	65.5	68.9	70.8	78.4	89.1	101.7
		15	78.9	82.6	84.5	91.0	101.0	112.6
		20	89.0	92.6	93.1	100.6	108.7	117.4
	45	0	7.3	22.2	37.5	75.3	113.1	151.1
		5	48.1	47.9	53.2	83.2	118.6	154.1
		10	66.6	67.4	67.5	90.5	122.7	157.2
		15	79.5	81.4	80.7	97.1	126.7	160.7
		20	90.2	92.7	92.2	103.1	130.5	163.0
	90	0	8.0	24.3	40.7	81.9	122.9	164.1
		5	47.6	45.8	54.5	88.9	127.5	166.9
		10	66.6	64.3	66.3	95.1	131.2	169.1
		15	74.4	78.1	76.3	100.7	134.6	171.0
		20	90.0	90.5	86.9	105.3	137.7	173.6
1.8	0	0	3.2	11.3	19.8	41.7	64.5	87.5
		5	55.3	58.2	61.0	73.2	88.6	107.2
		10	76.2	80.2	82.7	92.5	105.2	121.2
		15	91.1	95.7	98.3	107.0	119.5	133.9
		20	102.6	106.9	111.9	118.5	128.9	140.6
	45	0	8.0	24.3	41.2	83.2	125.3	167.6
		5	55.4	54.9	60.6	93.1	131.5	171.4
		10	76.9	77.0	77.7	102.0	137.0	174.8
		15	92.5	93.7	92.9	110.1	142.7	178.9
		20	104.6	107.2	105.8	118.0	146.8	181.9
	90	0	8.6	26.2	44.1	88.8	133.4	177.6
		5	54.9	51.9	60.8	97.3	138.4	183.0
		10	76.7	73.8	75.2	111.4	143.3	183.5
		15	92.6	90.2	87.5	112.0	148.7	186.6
		20	104.2	104.2	99.1	118.2	151.5	190.9

* ΔT : Temperature difference between indoor and outdoor

Angle : Wind incidence angle

Table 4. Calculated ventilation rates of 0.5 height of standard model with various conditions

(m³/sec)

Ventilator neck width (m)	Angle (degree)	ΔT (°C)	Wind speed(m/s)				
			0.5	1.5	2.5	5	7.5
1.2	0	0	1.0	5.0	8.6	16.9	25.9
		10	37.2	38.6	39.6	43.4	48.2
		20	50.7	52.3	53.4	56.6	61.0
	45	0	3.6	10.9	18.3	37.6	55.3
		10	37.6	37.7	37.6	46.7	61.6
		20	50.8	51.8	51.6	54.3	65.4
	90	0	4.0	12.2	20.4	40.3	60.5
		10	37.6	36.7	36.4	48.6	65.8
		20	51.1	51.6	49.4	55.5	70.0
1.5	0	0	1.7	6.1	10.8	22.6	34.2
		10	46.5	48.8	50.1	55.7	62.2
		20	63.4	65.5	67.6	69.8	77.2
	45	0	5.0	15.3	25.6	51.6	77.7
		10	46.9	47.6	48.1	63.4	85.1
		20	64.0	65.6	65.5	71.9	91.1
	90	0	5.6	17.0	28.4	56.9	85.5
		10	47.5	46.6	47.6	67.0	91.7
		20	64.4	64.9	63.1	74.4	95.8
1.8	0	0	1.8	5.3	9.2	19.5	39.2
		10	56.9	60.0	61.2	60.5	70.2
		20	77.2	80.3	83.4	86.3	89.4
	45	0	5.2	16.1	26.6	53.6	82.3
		10	57.4	57.9	56.9	70.6	92.4
		20	78.5	80.3	78.1	79.7	101.2
	90	0	5.4	16.5	27.7	56.9	83.7
		10	57.4	55.7	54.0	69.6	92.1
		20	79.1	78.5	78.4	80.6	99.1

* ΔT : Temperature difference between indoor and outdoor

Angle : Wind incidence angle

차가 클수록 환기량이 증가하는 것으로 나타났다.

2. 배기유량 영향인자 분석

(1) 너비(C) 변화에 의한 영향

표준규격을 가진 일반형 벤틸레이터의 목너비(C)를 1.2 m, 1.5 m, 1.8 m로 증가했을 때 풍향에 따른 환기량 변화를 예측해 보았다. Figure 9는 풍향 0°, 실내·외 온도차 10°C 그리고 Figure 10은 풍향 90°, 실내·외 온도차 10°C일 때의 결과를 정리한 것이다. Figure 9와 Figure 10을 비교해보면 풍향에 상관없이 벤틸레이터 너비가 넓을수록, 풍향은 0°일 때보다 90°일 때 환기량이 증가하는 것을 알 수 있다. 풍향 0°일 경우에는 풍속이 빨라지더라도 환기량이 크게 증가하지 않는데 반해, 풍향 90°일 경우에는 풍속 2.5 m/s를 기준으로 저속(0 ~ 2.5 m/s)에서는 유량이 거의

증가하지 않지만, 고속(2.5 ~ 10 m/s)에서는 풍속이 증가할수록 환기량이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. Figure 10의 결과에서 보면 바람의 영향을 많이 받는 풍향 90°의 환기량 변화는 벤틸레이터 목

너비에 상관없이 외부 풍속이 낮을 경우(2.5 m/s 이하)에는 부력에 의해 지배적인 영향을 받고, 외부 풍속이 높을 경우(2.5 m/s 이상)에는 풍력에 지배적인 영향을 받는다는 기존의 연구결과와 일치하였다

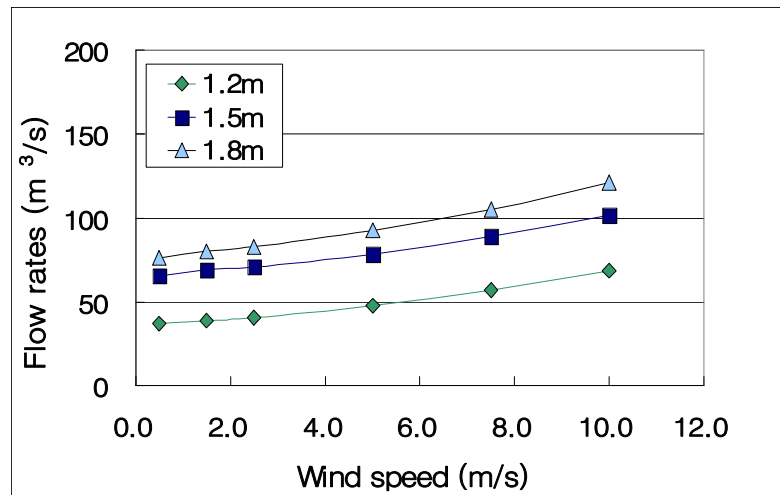


Figure 9. Ventilation rates with different ventilator width of standard height ventilator at wind incidence angle 0°, ΔT 10°C.

Table 5. Calculated ventilation rates of 1.5 height of standard model with various conditions

(m³/sec)

Ventilator neck width (m)	Angle (degree)	ΔT (°C)	Wind speed(m/s)				
			0.5	1.5	2.5	5	7.5
1.2	0	0	2.1	8.2	14.4	30.0	46.0
		10	57.6	60.3	61.5	68.0	77.0
		20	78.3	81.6	83.5	87.3	94.0
	45	0	5.6	17.1	28.6	57.7	86.6
		10	58.3	58.9	57.2	71.5	95.3
		20	79.4	81.4	80.3	83.2	102.6
	90	0	6.0	17.1	28.4	56.7	90.5
		10	57.6	55.1	52.3	69.0	92.6
		20	79.0	79.0	73.1	79.3	99.0
1.5	0	0	3.3	10.9	18.9	39.6	60.7
		10	73.6	77.0	79.3	88.1	100.5
		20	99.4	104.3	107.3	113.3	122.4
	45	0	7.5	22.7	38.2	77.0	115.6
		10	73.8	74.4	72.6	94.4	126.8
		20	100.6	103.3	101.2	109.6	136.5
	90	0	7.4	22.5	37.5	74.9	112.0
		10	74.1	70.3	67.7	90.8	122.0
		20	100.2	100.2	93.1	104.1	131.6
1.8	0	0	3.7	12.3	19.3	49.1	76.7
		10	89.1	94.2	97.3	108.6	125.1
		20	120.1	127.9	131.2	139.8	151.9
	45	0	8.8	27.4	46.4	92.6	139.4
		10	89.6	88.4	92.2	115.2	153.3
		20	123.4	124.8	122.5	132.3	162.3
	90	0	9.0	27.5	43.7	87.3	130.9
		10	89.2	84.8	81.3	107.5	143.3
		20	121.2	118.9	111.7	123.8	153.8

* ΔT : Temperature difference between indoor and outdoor

Angle : Wind incidence angle

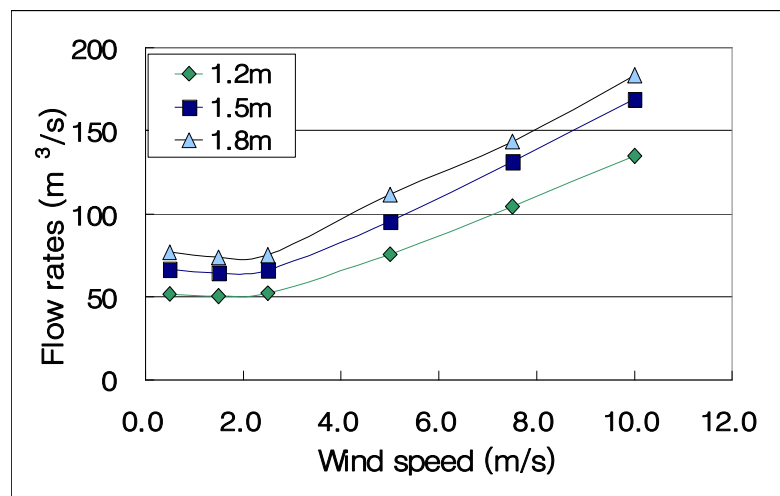
(하현철 등 2002). Figure 9와 Figure 10에 의해 표준형 벤틸레이터의 환기량은 벤틸레이터 목너비(C)가 넓을 수록, 풍향 각은 90°, 외부 풍속은 빠를수록 증가한다는 것을 알 수 있다.

(2) 높이 변화에 의한 영향

표준형 벤틸레이터와 높이가 표준형보다 0.5배 낮거나 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량 변화를 알아보기 위해 실내·외 온도차가 10°C일 때 풍향에 따른 환기량 자료를 Figure 11 ~ Figure 13에 정리하였다. Figure 11은 풍력이 환기량 증가에 크게 영향을 주지 않는 풍향 0°일 때의 결과를 정리한 것으로, 표준형과 높이가 0.5배 낮은 벤틸레이터 보다 높이가 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량이 풍속에 상관없이 가장 많은 것으로 나타났다. 기존 하현철 (2002)의 연구에서도 풍향 0°일 경우에는 풍속의 변화에 따른 환기량의 급격한 증

가는 없었는데, 본 연구에서와 같이 벤틸레이터 높이가 표준형보다 높거나 낮아도 풍향 0°에서는 풍속의 변화에 따른 환기량의 변화가 크게 발생되지 않는 것을 알

수 있다. 이는 풍향 0°에서는 바람의 영향은 크지 않고 단지 실내·외 온도차에 의한 굴뚝효과(Stack effect)가 주환기력으로 작용하기 때문에 벤틸레이터 높이가

Figure 10. Ventilation rates with different ventilator width of standard height ventilator at wind incidence angle 90°, ΔT 10°C.

높을수록 환기량이 증가한 것으로 판단된다. 이와 같이 건물의 주풍이 0°인 곳에서는 환기량 증가를 위해 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터를 설치하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

Figure 12는 풍향 45°일 때 결과로, 풍향 0°일 때와 마찬가지로 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기효율이 풍속에 상관없이 가장 좋은 것으로 평가되었다. 하지만, 풍속에 따른 환기량의 변화를 살펴보면, 풍속 2.5m/s를 기준으로 환기량이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 실내·외 온도차가 10℃정도 일 때에는 부력이 크게 작용하지 않기 때문에 부력이 주환기력으로 작용하는 풍속 2.5m/s 이하에서는 환기량이 많지 않았지만, 외기 풍속 2.5m/s 이상에서는 부력보다는 풍력이 주환기력으로 작용하기 때문에 바람의 도움을 받아 환기량이 크게 증가한 것으로 판단된다. 하지만, 풍속 2.5m/s 이상 범위에

서 벤틸레이터 높이에 따른 환기량 증가를 비교해 보면, 표준형과 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터에 비해 표준형보다 0.5배 낮은 벤틸레이터의 증가폭이 많이 않다는 것을 알 수 있다. 풍속이 2.5m/s에서 7.5m/s로 증가 할 때 표준형보다 0.5배 낮은 벤틸레이터의 환기량은 30 m³/s가 증가하지만, 표준형과 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터는 50m³/s 이상 증가하였다. 즉, 표준형보다 낮은 벤틸레이터를 설치할 경우에는 표준형에 비해서 환기량이 많이 증가되지 않는다는 것을 알 수 있다. 또, 모든 풍속 범위에서 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량이 표준형보다 크게 증가하지 않아 환기량 증가를 위해 표준형보다 높은 벤틸레이터를 설치해도 환기량 증가 효과는 크지 않았다. 이상의 결과에서 풍향 45°일 때, 0.5배 낮은 벤틸레이터의 환기량은 표준형에 비해 크게 감소하는데 반해, 표준형보다 1.5배 높은

벤틸레이터의 환기량은 표준형보다 많이 증가하지 않는다는 것을 알 수 있다.

Figure 13은 풍력에 의한 영향을 가장 많이 받는 풍향 90°에서의 벤틸레이터 높이에 따른 환기량 자료를 정리한 것인데, 풍속에 따른 환기량 변화는 풍향 45°일 때와 거의 유사한 형태를 나타내고 있다. 하지만 풍속이 2.5m/s 이상인 고속에서 표준형과 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량 자료를 비교해보면, 표준형의 환기량이 1.5배 높은 벤틸레이터 보다 많았다. 풍속 5m/s일 때 환기량을 비교해 보면, 표준형은 95.1m³/s이고 1.5배 높은 벤틸레이터는 90.8m³/s로 표준형의 환기량이 4.3m³/s 많았다. 그리고, 풍속 7.5m/s일 때, 표준형 131.2m³/s, 1.5배 높은 벤틸레이터 122m³/s로 표준형의 환기량이 9.2m³/s 많았다. 즉, 풍향 90°일 때 풍속이 증가할수록 표준형 벤틸레이터의 환기량이 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량보다 많게 예측되어, 주풍이 90°인 지역에서 환기량 증가를 위해 벤틸레이터 높이를 표준형보다 높게 설치할 경우에 오히려 환기량이 줄어드는 문제가 발생한다는 것을 알 수 있다.

풍향 90°, 풍속 2.5m/s 이상에서 표준형보다 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량이 감소하는 이유를 알아보기 위해 Figure 14와 같이 풍향 90°, 풍속 7.5 m/s, 온도차(ΔT) 20℃일 때 표준형과 1.5배 높은 벤틸레이터의 단면 기류 분포를 정리하였다. Figure 14(a)의 표준형 벤틸레이터 내부 백터를 살펴보면 외부 기류가 벤틸레이터 아래쪽에서 내부로 유입되었다가 작업장

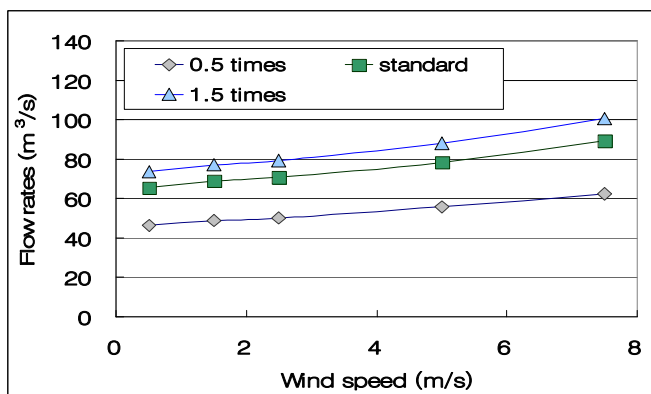


Figure 11. Ventilation rates with different ventilator height at wind incidence angle 0°, ΔT 10°C.

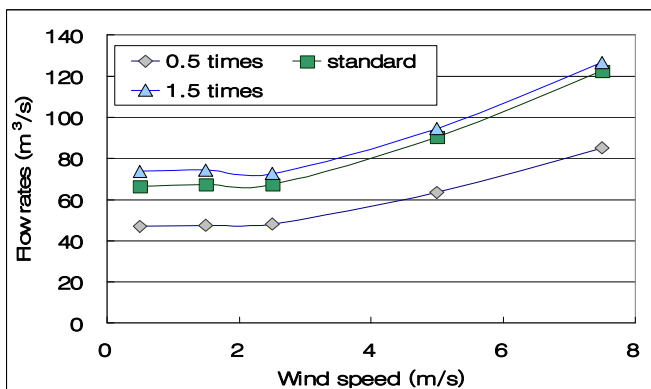


Figure 12. Ventilation rates with different ventilator height at wind incidence angle 45°, ΔT 10°C.

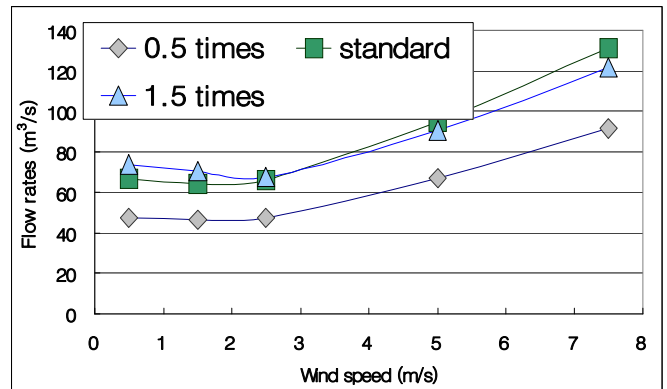


Figure 13. Ventilation rates with different ventilator height at wind incidence angle 90°, ΔT 10°C.

내부 기류와 같이 벤틸레이터 상부로 유출되는 것을 알 수 있다. 하지만, Figure 14(b)의 1.5배 높은 벤틸레이터의 내부 기류를 살펴보면, 벤틸레이터 아래쪽에서 유입된 공기가 작업장 내부 기류와 같이 벤틸레이터 상부로 유출되는 것이 아니라, 아래쪽에서 유입된 외부 공기가 벤틸레이터 상부로 바로 유출되면서 작업장 내부 공기가 유출되지 못하도록 막고 있는 것을 볼 수 있다. 즉, 표준형 벤틸레이터는 빠른 외부기류의 도움을 받아서 작업장 내부 기류가 원활하게 유출되는데 반해, 1.5배 높은 벤틸레이터는 외부 기류가 빠를 경우 외부 기류에 의해 작업장 내부 기류의 유출이 방해를 받고 있다는 것을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 Figure 13에서와 같이 풍속이 빠를 경우 1.5배 높은 벤틸레이터의 환기량이 표준형보다 낮게 예측되었던 것으로 판단된다. 따라서, 주풍의 방향이 건물과 90°인 지역에서는 환기량 증가를 목적으로 벤틸레이터 높이를 높게 설치하면 오히려 환기량이 줄어드는 현상이 발생하므로 설치 시 유의해야 될 것으로 판단된다.

IV. 결 론

컴퓨터 시뮬레이션 기법을 이용하여 작업장에서 가장 많이 사용되고 있는 일반

형 자연환기 벤틸레이터의 높이 및 너비 변화에 따른 환기량을 다양한 기상조건(풍향, 풍속)과 작업장 내부조건(실내외 온도차)에 따라 예측하였고, 그 결과는 다음과 같다.

1. 벤틸레이터 목 너비(C)에 의한 영향

벤틸레이터 높이에 상관없이 벤틸레이터 목 너비(C)가 넓어질수록 환기량이 증가하는 것으로 예측되어 환기량 증가를 위해서는 벤틸레이터 너비를 가능한 넓게 설치하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

2. 벤틸레이터 높이에 의한 영향

(1) 안전성과 설치비용을 고려해서 표준형보다 벤틸레이터 높이를 0.5배 낮게 설치할 경우, 풍향 풍속에 상관없이 환기량이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 환기량 증가를 목적으로 표준형보다 1.5배 높게 설치할 경우, 풍향 0°에서는 표준형보다 환기량이 증가하여 효율이 좋은 것으로 평가되었지만, 풍향 45°와 90°에서는 표준형보다 환기량이 크게 증가하지 않는 것으로 나타났다. 특히, 풍향 90°에서는 풍속이 빠를 경우 외부기류의 영향을 받아 환기량이 표준형보다 오히려 줄어드는 것으로 예측되었다.

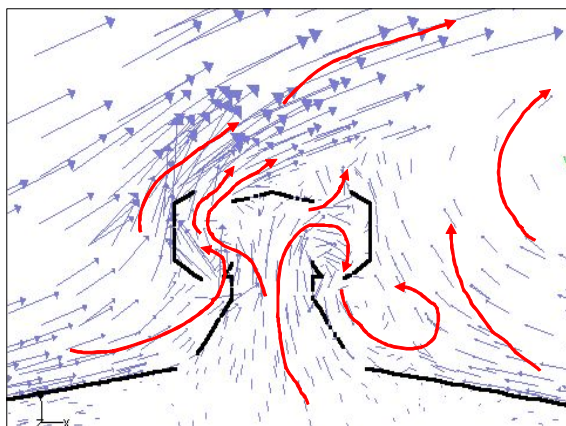
이상의 결과에서 자연환기 벤틸레이터를 이용하여 환기를 하고자 할 때, 환기량을 증가하기 위해서는 벤틸레이터 높이를 가능한 넓게 설치하고, 벤틸레이터 높이는 표준형으로 설치하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 특히, 벤틸레이터 설치시 유의해야 되는 부분은 표준형보다 벤틸레이터 높이를 낮게 설치할 경우 환기량이 급격하게 줄어들기 때문에 높이가 낮은 벤틸레이터 설치에 반드시 피해야 할 것으로 판단된다.

감사의 말씀

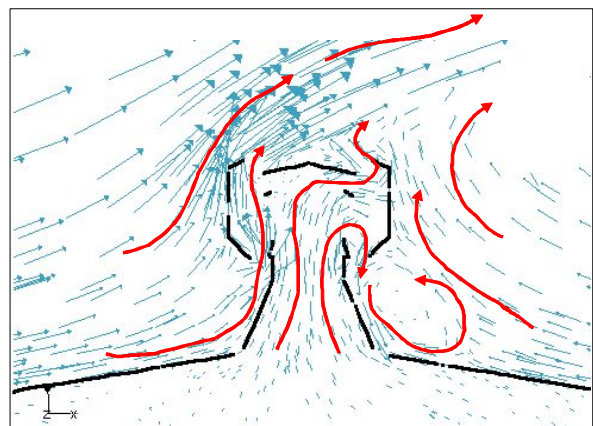
본 연구는 에너지관리공단과 창원대학교의 공동 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

REFERENCES

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Industrial Ventilation - A Manual of Recommended Practice, 24th ed, ACGIH, Ohio; 2001. p.2-2.17
- Boulard T, Kittas C, Papadakis G, Mermier M. Pressure field and airflow at the opening of a naturally ventilated greenhouse. J Agric Engng Res. 1998;



(a) Standard height



(b) 1.5 height of standard ventilator

Figure 14. Flow directions in ventilator neck.

- 71:93-102.
- FLUENT. Theory manual, Fluent Inc.; 1998.
- 이재현. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. 대한 교과서 주식회사, 1997. (.16-17쪽.)
- 하현철, 정유진, 김태형. 일반형 자연환기 벤틸레이터 배기유량 산정. 한국산업 위생학회지 2002;12(1):27-34
- 하현철, 김태형. 자연환기 벤틸레이터 형태에 따른 환기 특성. 한국산업위생학회지 2002;12(1):35-45
- 하현철. 자연환기 형태에 따른 환기효율 평가 및 환기량 산정. 창원대학교 박사학위논문; 2002. (112-113쪽.)