

윈드터빈 자연환기 장치의 외기풍속 및 온도차에 따른 환기특성에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Ventilation Characteristics of a Wind-Turbine Natural Ventilator
According to the Outdoor-Wind Velocity and the Indoor/Outdoor-Temperature Difference

한동훈(Dong-Hun Han)^{1,3}, 김영식(Yeong-Sik Kim)², 정한식(Hanshik Chung)⁴,
정효민(Hyomin Jeong)⁴, 최순호(Soon-Ho Choi)^{4*}

¹마산공업고등학교, ²대성에어테크, ³경상대학교 대학원 에너지기계공학과,

⁴경상대학교 에너지기계공학과 해양산업연구소

¹Masan Technical High School, Masan City, 51353, Republic of Korea

²DAE SUNG AIR TECH. CO., Kimhae City, 50802, Republic of Korea

³Department of Energy and Mechanical Engineering, graduated school, Tongyeong City, 53064, Gyeongsang National University, Republic of Korea

⁴Department of Energy and Mechanical Engineering, Institute of Marine Industry, Tongyeong City, 53064, Gyeongsang National University, Republic of Korea

(Received July 12, 2016; revision received January 1, 2017; Accepted: January 15, 2017)

Abstract With the improvement of living standards, the ventilation for the mitigation of indoor or outdoor air-pollution problems has recently attracted a lot of attention. Consequently, the ventilation for the supply of outdoor fresh air into a room is treated as an important building-design factor. The ventilation is generally divided into the forced and natural types; here, the former can control the ventilation rate by using mechanical devices, but it has the disadvantages of the equipment costs, maintenance costs, and noise generation, while the latter is applied to most workshops due to the absence of noise and the low installation and maintenance costs. In this experimental study, the ventilation performance of a typical rotating-type natural ventilator, which is called a “wind turbine,” was investigated with the outdoor-wind velocity and the indoor/outdoor-temperature difference. From the experiment results, it was confirmed that the temperature difference of 10°C corresponds to the ventilation driving force with an outdoor-wind velocity of 1.0 m/s. Additionally, the intake-opening area of a building also exerts a great effect on the ventilation rates.

Key words Differential Pressure(차압), Natural Ventilation(자연환기), Temperature Difference(온도차),
Ventilation Driving Force(환기구동력), Wind Velocity(풍속)

† Corresponding author, E-mail: choi_s_h@naver.com

영문자

A : 면적 [m^2]
 CMH : 단위시간당 환기량 [m^3/hr]
 C_p : 풍력계수
 g : 중력가속도 [m/s^2]
 h : 높이 [m]
 p : 압력 [kPa]
 V : 속도 [m/s]

그리스 문자

ρ : 밀도 [kg/m^3]

하첨자

b : 밀도차 기인(Buoyancy induced)
 in : 실내
 out : 실외
 w : 풍속 기인(Wind induced)

1. 서 론

생활수준의 향상에 의한 자동차 보급의 폭발적인 증가, 산업화에 의한 대기오염, 실내 내장재로 부터 확산 되는 화학물질의 발산, 유해물질을 취급하는 작업장 내의 공기오염 때문에 환기(Ventilation)는 실내 재실자(Indoor Occupant)들의 건강을 보장하기 위한 매우 중요한 설계요소로 부각되고 있다.^(1, 2)

환기에는 강제환기(Forced Ventilation)와 자연환기(Natural Ventilation)로 분류되며, 강제환기는 급기(Air Supply)와 배기(Air Exhaust)를 위해 팬(Fan), 블로워(Blower), 공조조화장치(Air-conditioning Device) 등의 기계장치를 사용하기 때문에 환기량(Ventilation Rate)과 급기의 온도 및 습도(Humidity)를 필요에 따라 인위적으로 제어할 수 있는 장점이 가지지만, 동시에 설비의 설치비와 유지관리비, 소음 등의 단점을 가지고 있다.^(3, 4) 이에 반해 자연환기는 실내/실외의 온도차에 의한 압력차(Differential Pressure)와 외기풍속에 의해 발생하는 실내/실외의 압력차를 환기의 구동력으로 이용하기 때문에 낮은 설비비와 유지관리비가 발생하지 않고, 소음이 거의 없다. 이와 같은 이유로 대부분의 단순한 기계가공을 수행하는 작업장에서는 자연환기를 적용하는 것이 일반적이다.^(5, 6)

자연환기장치에는 루프 모니터(Roof Monitor)와 무동력 환기장치가 주로 사용되며, 그 외에 채광 및 배연 기능을 갖춘 해치(Hatch) 및 벽면 설치형의 환기창(Ventilator Window) 등 다양한 종류가 현재 적용되고 있다.

자연환기의 설계요건은 건물의 구조와 형태, 실내 개구부의 위치와 크기와 같은 건축구조적인 측면과 작업의 종류, 생산공정의 특징, 생산시설의 배치상황, 오염물질 및 발열요소 등의 고려사항 외에 해당 작업장의 입지 조건, 외기의 풍속 및 풍향과 같은 기상여건에 의해서도 영향을 받기 때문에 다양한 요소들을 충분히 고려하여 환기계획을 수립해야 한다.⁽⁷⁾

강제환기와 달리 자연환기 설비는 일단 설치된 후에는 인위적인 환기제어가 불가능하기 때문에 제반여건을 고려한 적절한 설계가 되지 않으면 효율적인 환기가 이루어지지 않을 뿐만 아니라 예산만 낭비하는 결과를 초래하며, 최악의 경우에는 환기요건^(8, 9)을 만족시키기 위해 자연환기설비를 강제환기방식으로 전환해야만 할 수도 있다.

하지만 현재 국내의 상황에서는 공장 혹은 건물을 신축하면서 자연환기를 적용하는 경우, 상술한 바와 같이 고려해야만 하는 많은 요소들에 대한 충분한 검토가 이루어지는 경우는 거의 없다. 즉, 기존의 시공경험에 의한 대략적 수치에 의존하여 자연환기설비의 종류, 사이즈 및 대수를 결정하여 설치하는 관계로 예상했던 환기능력이 나오지 않으면 건축주와 건축설계사, 시공사 사이의 책임소재에 대한 갈등이 발생하는 것이 일반적이다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 자연환기장치의 환기특성을 정량적으로 조사할 필요가 있음을 인식하고 환기성능을 평가할 수 있는 실험설비를 제작하여 현재 가장 많이 사용되고 있는 회전식 자연환기장치, 즉 윈드터빈(Wind Turbine)을 대상으로 하여 풍속, 외기/내기의 온도차 및 급기구 면적에 따른 환기특성을 파악하였다.

자연환기에 대한 기존의 국내연구로서는 Ha⁽¹⁰⁾는 루프모니터의 형태에 따른 환기효율을 평가하였으며, Kim⁽¹¹⁾ 외기풍속과 풍향이 자연환기에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. Seo⁽¹²⁾ 외기풍속과 풍향을 실측하여 건물의 풍압계수 분포특성에 대해 분석하였으며, 그리고 가장 최신의 연구로서 Kim⁽⁸⁾ 3가지 종류의 자연환기장치에 대해 외기풍속에 대한 환기성능 비교를 위한 정량적인 실험을 수행하였다.

국외에서는 Chi-ming Lai⁽¹³⁾ 저속풍동실험으로 윈드터빈의 환기량을 연구하였으며, Revel은 풍동실험을 통해 4가지 종류(직선형 블레이드를 장착한 직경 250 mm의 회전식, 곡선형 블레이드를 장착한 직경 300 mm의 회전식, 직경 300 mm의 방향식, 직경 300 mm의 뚜껑 없는 고정식)의 환기특성을 비교하였다.⁽¹⁴⁾ 최근에는 Song은 외기풍속에 따른 윈드터빈의 환기성능과 윈드터빈이 회전하지 않는 경우의 역류현상에 대한 연구와⁽¹⁵⁾ 윈드터빈의 주변에 장애물이 있는 경우에 환기성능이 어떤 영향을 받는지에 대한 실험을⁽¹⁶⁾ 수행하였으며, 크기가 다른 윈드터빈을 설치하여 동일한 실험조건에서의 환기량을 비교하여 사이즈에 따른 환기성능을 정량적으로 비교한 또 다른 실험연구도⁽¹⁷⁾ 진행하였다.

하지만 전술한 기존의 연구들은 모두 환기성능에 대한 외부풍속에 의한 영향을 연구한 것이며, 본 연구에서는 외기풍속뿐만 아니라 실내/실외의 온도차에 의한 환기량에 대한 실험을 각각 수행함으로써 외기풍속과 온도차의 등가구동력을 확인할 수 있었으며, 윈드터빈의 사이즈와 개구부 면적에 따른 환기성능을 보다 정량적으로 파악할 수 있는 실험자료를 확보하였다.

2. 자연환기와 환기장치의 종류

전술한 바와 같이 자연환기는 실내와 실외의 압력차에 의해서 발생하며, 환기구동력인 압력차는 외기풍속, 그리고 실내와 실외공기의 온도차에 따른 공기밀도의 차이에 의해 발생한다.

외기풍속에 의한 환기구동력에 대한 이론식은^(8, 9, 20, 21) 식(1), 그리고 실내와 실외의 온도차에 의한 환기구동력은 식(2)에^(22, 23) 의해 주어진다.

$$\Delta p_w = (C_{p1} - C_{p2}) \frac{1}{2} \rho_{out} V_{out}^2 \quad (1)$$

$$\Delta p_b = (\rho_{out} - \rho_{in}) gh \quad (2)$$

식(1)에서 C_p 는 건물의 개구부에 작용하는 풍력계수(Wind Force Coefficient)를 나타내며, 풍력계수가 큰 개구부에서 풍력계수가 적은 개구부 쪽으로 공기흐름이 발생함을 나타내며, 식(2)는 일반적으로 외기의 온도가 실내의 공기온도보다 낮기 때문에 공기의 밀도차에 의해 외부로부터 실내로 공기가 유입됨을 나타낸다. 자연환기의 경우 외기풍속과 실내와 실외공기의 온도차에 의한 환기가 단독으로 발생하지는 않으며, 거의 모든 경우에 있어 복합적인 효과에 의해 발생한다.

현재 국내에서 사용되고 있는 자연환기장치들은 Fig. 1에 보인 무동력형이 일반적이며, Fig. 1(a)~Fig. 1(d)는 작업장용, 그리고 개폐가 가능한 Fig. 1(e)와 Fig. 1(f)는 고급주택 혹은 빌딩의 사무공간용으로 적용되고 있다.

루프모니터는 굴뚝효과와 베르누이 법칙에 의한 압력차를 이용하여 공장 혹은 작업장 내의 열을 배출하는 것이 주목적이다. 윈드터빈은 밖에서 불어오는 풍속의 영향으로 회전을 하며, 터빈날개의 파형과 굴곡은 미세한 바람에도 회전할 수 있도록 제작되어 건물 또는 공장의 내부의 열을 밖으로 배출한다.

방향식 벤틸레이터는 외부의 바람이 벤틸레이터의 축소형 관로(Nozzle)를 통과하면서 유속이 증가하는 구조로 제작되어 유속증가에 따른 압력감소를 이용하여 실내공기가 외부로 배출되는 원리이다. 스모크 헤치는 채광과 배연의 기능을 갖추고 있으며, 환기창은 상하, 좌우로 개폐가 가능하고 주로 벽면 설치형으로 사용되고 있다.

3. 실험 장치 및 실험 방법

3.1 실험 장치

Fig. 2는 본 연구에서 사용한 회전식 자연환기 장치(300, 450, 600 mm)의 외부 모습과 내부의 모습을 보여주는 것이며, Fig. 3은 환기성능을 측정하기 위한 전체 실험장치를 보여주는 그림이다.

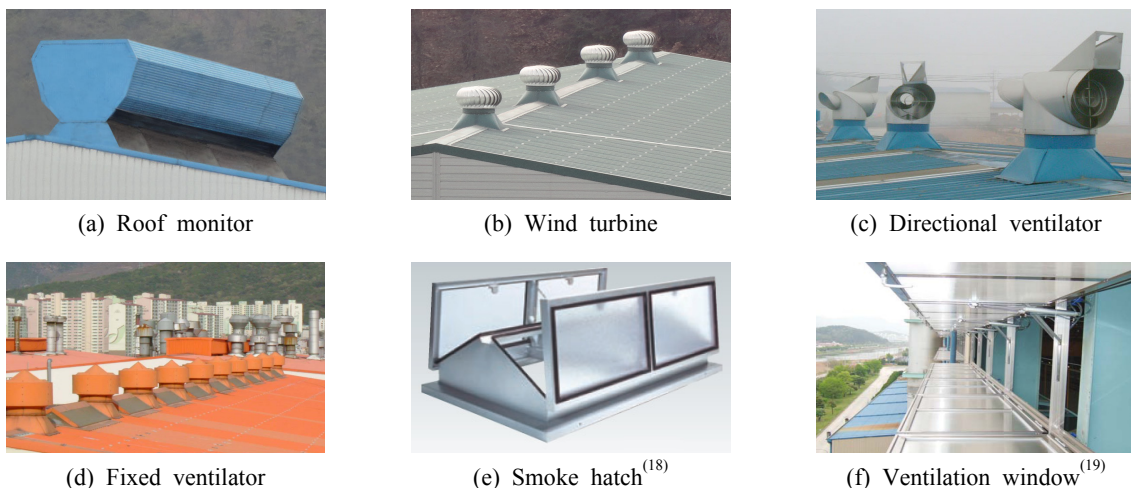


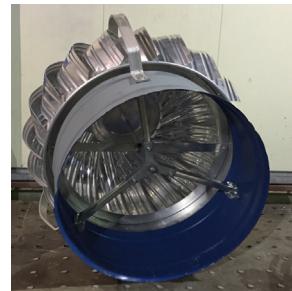
Fig. 1 Types of the natural ventilators.

성능 실험장치는 Fig. 3에서 알 수 있듯이 송풍부(Blast part), 정류부(Settling part), 측정부(Measurement part)의 3부분으로 구성되어 있다. 송풍부의 입구부에는 4대의 축류팬을 병렬로 설치하고, 컨트롤 패널 속에 내장된 인버터에 의해 주파수를 변환시키는 방식으로 정류부의 출구풍속을 조절하였다. 그리고 실내건물을 모사하는 사각형의 측정공간 바닥에는 Fig. 4에 보인 세라믹 전열판을 설치하여 챔버의 내부온도를 변화시킴으로서 실내/실외공기의 온도차를 생성시켰다. 히터는 설정온도 대비 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 부터 On-off 형식으로 작동한다.

송풍부에서 환기장치로 공급되는 풍속, 급기구로부터 흡입되는 환기량, 건물의 실내를 모사하는 챔버 내부의 공기온도와 환기되는 공기흐름을 측정하고, 가시화시키기 위해 Fig. 5에 보인 (a) Data logger, (b) Hot wire anemometer, (c) Fog machine (d) Thermo couple 등의 측정장치를 사용하였다.



(a) External appearance of a wind turbine



(b) Internal appearance of a wind turbine

Fig. 2 Wind turbine of 450 mm size used in the experiment.

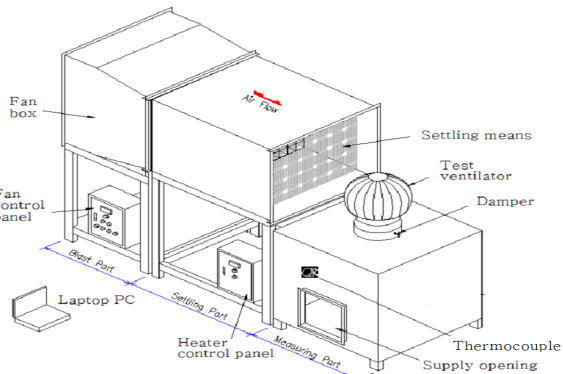


Fig. 3 Appearance of the experimental apparatus for measuring the ventilation rate.



Fig. 4 Electrical heater installed the floor of a measuring chamber.



(a) Data logger



(b) Hot wire anemometer



(c) Fog machine



(d) Thermocouple

Fig. 5 Measuring instruments for the experiment.

3.2 실험범위

실험은 Table 1에 정리한 것과 같이 나타난 외기풍속에 따른 환기성능을 측정하기 위해 사이즈가 다른 3가지 종류(300, 450, 600 mm)의 윈드터빈에 외기를 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 m/s의 풍속으로 공급하였다. 그리고 온도차에 따른 환기량 측정은 3가지 크기의 윈드터빈에 대해 외부온도와 내부온도의 차이를 5, 10, 20, 30℃로 설정하였으며, 실내공기의 온도안정을 위해 대기시간 20분 이후부터 측정을 하였다.

뿐만 아니라 윈드터빈의 흡입구 크기에 대한 급기구의 면적에 따른 환기량의 영향을 정량적으로 파악하기 위해서 외기풍속과 실내외 온도차에 의한 환기실험에서 급기구 면적을 각각 0.01, 0.04, 0.09, 0.16 m²으로 바꾸면서 실험을 진행하였다.

환기량의 측정은 모든 실험에서 외부로부터 급기구로 흡입되는 평균풍속에 급기구 면적을 곱하여 환산하였다.

4. 예비실험

4.1 송풍팬의 회전수와 정류부 출구단면의 평균풍속

본 실험연구에서는 외기풍속의 변화에 따른 환기량의 변화를 측정하기 위해 팬의 회전수를 변화시켜 정류부로부터 윈드터빈으로 공급되는 바람의 속도를 0.5~4.0 m/s의 범위에서 제어하였다. Fig. 3은 선행연구에서^(8,9) 사용하였던 동일한 실험장치로서, Table 2는 송풍팬의 회전수에 대한 정류부 토출부 단면 중앙에서의 평균풍속을 외기풍속으로 환산한 값을 보이는 것이다.

정류부 토출부에서의 중앙풍속과 평균풍속과의 관계는 제 4.2절에서 설명하는 방법을 통해 계산하였다.

Table 1 Experimental conditions

Size	Case	Status	Outdoor wind velocity (m/s)	Temperature difference (°C)	Supply opening (m ²)
300 mm	Case-1	Rotating	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	N/A	
	Case-2	Fixed			
	Case-3	Rotating	N/A	5, 10, 20, 30	
	Case-4	Fixed			
450 mm	Case-1	Rotating	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	N/A	0.01, 0.04, 0.09, 0.16
	Case-2	Fixed			
	Case-3	Rotating	N/A	5, 10, 20, 30	
	Case-4	Fixed			
600 mm	Case-1	Rotating	0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0	N/A	
	Case-2	Fixed			
	Case-3	Rotating	N/A	5, 10, 20, 30	
	Case-4	Fixed			

Table 2 Fan speed and inverter frequency

Outdoor air velocity(m/s)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Fan speed(rpm)	243	383	707	1,090	1,534
Inverter frequency(Hz)	8	13	24	37	52

Table 3 Central wind velocity and average wind velocity at inlet

Wind velocity(m/s)	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Central wind velocity	0.00	0.05	0.26	0.40	0.56
Average wind velocity	0.00	0.05	0.25	0.37	0.56

Table 4 Central temperature velocity and average wind velocity at inlet

temperature (°C)	5	10	20	30
Central wind velocity	0.27	0.36	0.44	0.50
Average wind velocity	0.27	0.37	0.47	0.54

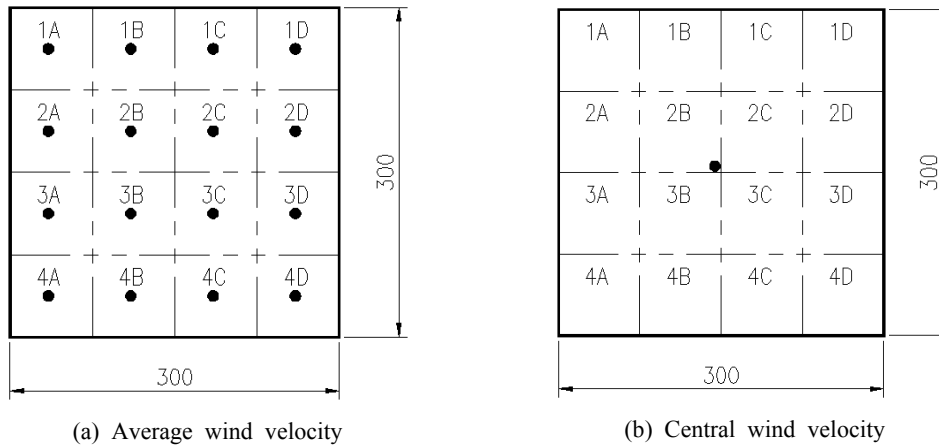


Fig. 6 Measurement position of the supply opening.

4.2 급기구 단면의 평균풍속과 중앙풍속

본 실험에서 적용한 환기량의 공기속도는 급기구의 단면을 Fig. 6(a)에 보인 것과 같이 동일면적의 구획으로 분할하여 각 구획에서의 공기유속을 먼저 측정한 후, 이의 평균치를 먼저 계산하였다. 그리고 Fig. 6(b)와 같이 급기구의 정중앙에서 측정한 공기유속을 측정하여 분할단면 평균유속과의 상관관계를 구하였는데, 이는 환기량의 계산을 중앙단면에서 측정한 공기유속을 상관관계식으로부터 구하기 위한 것이다.

평균풍속과 중앙풍속의 상관관계를 구하기 위한 공기유속의 측정방법은 해당 지점에서 10초간 3회를 측정하여 평균값을 취하였다.

Table 3은 외기풍속에 대한 측정결과를^(8, 9), Table 4는 온도차에 대한 측정결과를 나타낸 것으로서, 중앙풍속과 16개의 분할된 면적에서 측정한 공기유속의 평균값은 최대 8%의 차이를 보였다.

4.3 최저회전 풍속 및 온도차

본 연구에서는 윈드터빈의 사이즈에 따라 회전부의 무게 및 회전마찰이 다르기 때문에 외기풍속과 온도차에 따른 환기구동력에 의해 윈드터빈의 회전이 시작되는 최저풍속을 먼저 확인하였다.

Table 5에 보인 것과 같이 직경 300 mm인 경우 외부풍속이 0.6 m/s부터, 450 mm 직경은 0.7 m/s부터, 600 mm 직경은 1.6 m/s부터 터빈이 회전하기 시작하였으며, 이는 당연히 터빈의 직경이 클수록 회전부가 무겁기 때문에 회전을 위해서는 큰 구동력이 필요하기 때문이다.

전술한 바와 같이 실외와 실내공기의 온도차가 존재하면 높이에 따른 공기의 밀도차가 실외와 실내에서 달라지며, 이는 건물 벽면상의 개구부에 압력차로 작용하여 자연환기의 구동력으로 작용하게 된다.^(22, 23)

Table 5 Minimum wind velocity for rotation of a wind turbine

	Wind velocity(m/s)	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
300 mm	Fan speed(rpm)	167	192	217	243	270	297	325
	Rotating(O : Yes)	X	X	X	X	O	O	O
450 mm	Fan speed(rpm)	167	192	217	243	270	297	325
	Rotating(O : Yes)	X	X	X	X	X	O	O
	Wind velocity(m/s)	0.7	1.0	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8
600 mm	Fan speed(rpm)	297	325	442	537	570	603	637
	Rotating(O : Yes)	X	X	X	X	O	O	O

Table 6 Minimum temperature difference for rotation of a wind turbine

	Temperature difference(℃)	3	5	10	19	20	25	26
300 mm	Rotating(O : Yes)	O	O	O	O	O	O	O
450 mm	Rotating(O : Yes)	X	X	X	X	O	O	O
600 mm	Rotating(O : Yes)	X	X	X	X	X	X	O

Table 7 Ventilation rate of a wind turbine(300 mm size, free rotation)

	Wind velocity(m/s)	0.5 ⁽¹⁾	1.0	2.0	3.0	4.0
A = 0.01	Ventilation rate(CMH)	-0.90	10.70	24.20	39.90	55.60
A = 0.04	Ventilation rate(CMH)	-3.6	32.3	72.4	113.7	163.3
A = 0.09	Ventilation rate(CMH)	-8.0	59.5	99.8	155.7	214.2
A = 0.16	Ventilation rate(CMH)	-19.8	94.0	135.3	195.6	257.8

⁽¹⁾ In case that the wind velocity is under 1.0 m/s, the air flow is reversed from the outdoor to the indoor. That is, the reversal flow is occurred.

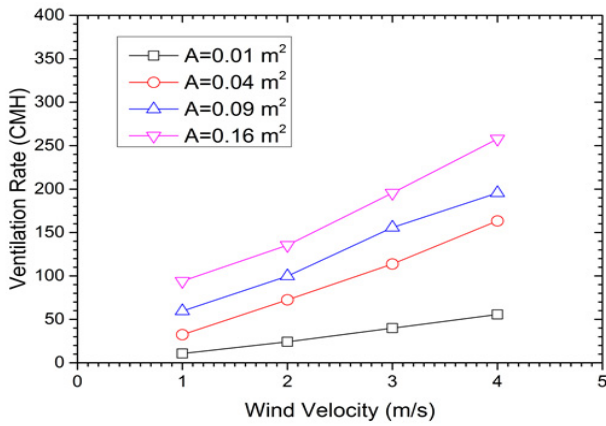
Table 8 Ventilation rate of a wind turbine with the indoor-outdoor temperature difference(300 mm size, free rotation).

	Temperature difference(℃)	5	10	20	30
A = 0.01	Ventilation rate(CMH)	15.12	18	23.76	29.52
A = 0.04	Ventilation rate(CMH)	47.52	60.48	79.2	90.72
A = 0.09	Ventilation rate(CMH)	74.52	97.2	129.6	152.28
A = 0.16	Ventilation rate(CMH)	103.68	126.72	167.04	201.6

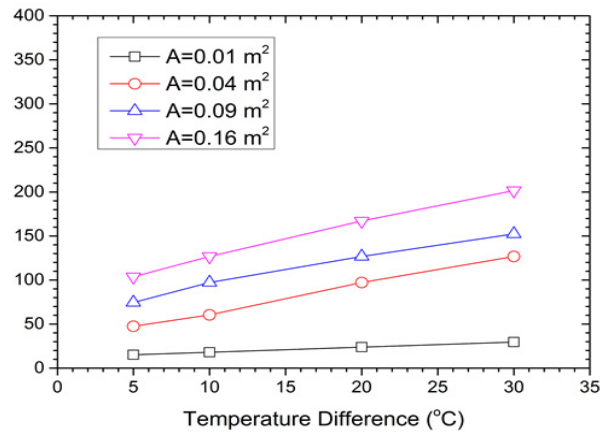
Table 6은 윈드터빈이 회전하기 시작하는 최소 온도차의 실험결과를 보이는 것으로서, 300 mm 직경의 경우 3℃부터, 450 mm 직경의 경우 20℃, 그리고 600 mm에서는 26℃의 온도차부터 회전이 확인되었다. Table 5와 Table 6의 측정결과를 비교하면, 자연환기의 외부풍속에 의한 구동력과 실외와 실내공기의 온도차에 의한 구동력을 서로 비교하여 평가할 수 있음을 알 수 있다.

5. 실험결과 및 고찰

Table 7은 직경 300 mm인 윈드터빈에 대해서 외기풍속에 대한 급기구 면적에 따른 환기량을, 그리고 Table 8은 외기풍속이 없고 순수하게 실외와 실내공기의 온도차만에 의해 발생하는 환기량을 동일하게 급기구의 면적에 따라 정리한 것으로서 Fig. 7에 그 결과들을 보이고 있다. Table 7에서 외기풍속이 0.5 m/s인 경우 환기량에 음(-)의 부호가 붙은 것은 Table 5에서 알 수 있듯이 환기장치가 회전하지 않아 역류가 발생함을 의미한다. 이는 Song의 연구에서 “회전식 자연환기장치는 회전만 하면 역류하지 않는다.”라는 주장과 일치하는 결과이다.⁽¹⁵⁾

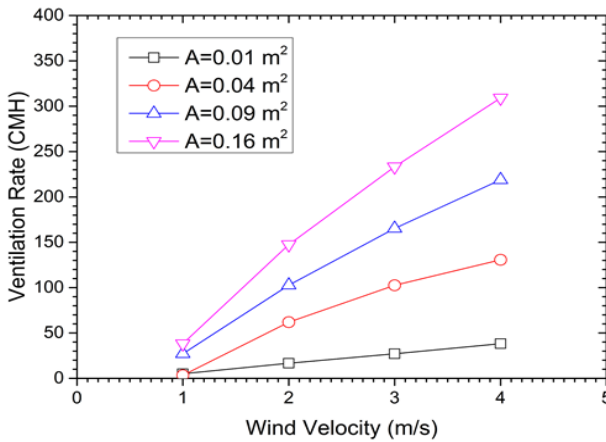


(a) Ventilation rate vs. the wind velocity.

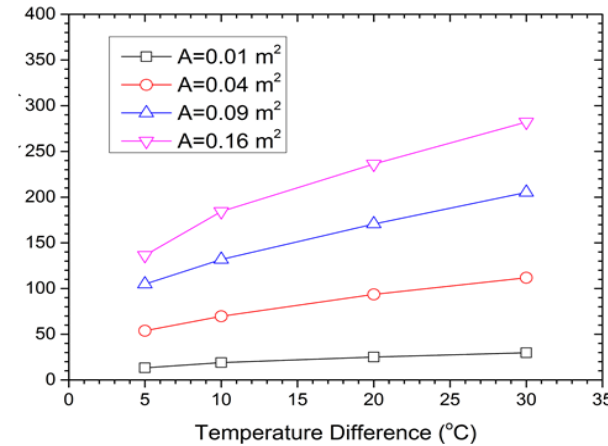


(b) Ventilation rate vs. the temperature difference.

Fig. 7 Ventilation characteristics of the 300 mm sized wind turbine.

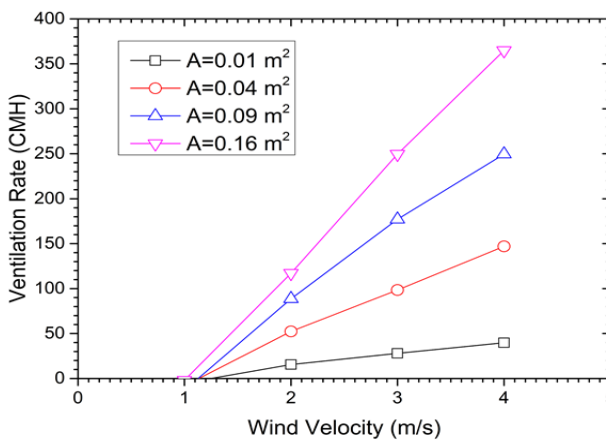


(a) Ventilation rate vs. the wind velocity.

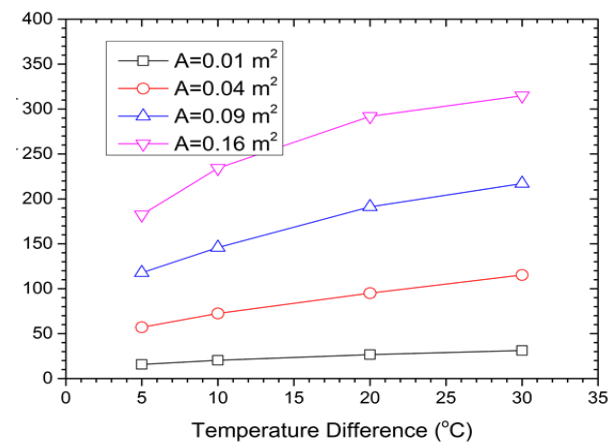


(b) Ventilation rate vs. the temperature difference.

Fig. 8 Ventilation characteristics of the 450 mm sized wind turbine.



(a) Ventilation rate vs. the wind velocity.



(b) Ventilation rate vs. the temperature difference.

Fig. 9 Ventilation characteristics of the 600 mm sized wind turbine.

Fig. 8, Fig. 9는 각각 450 mm, 600 mm의 윈드터빈에 대한 실험결과들로서, 이들 그림으로부터 알 수 있듯이 외기풍속 혹은 실내와 실외의 온도차에 의한 환기량은 동일한 조건에서 외기가 유입되는 개구부의 면적이 증가할수록 공기순환이 증가할 것이라는 물리적인 직관과 일치되는 결과를 보이고 있다.

온도차에 실내와 실외공기의 온도차에 의한 환기량에 대해서 한 가지 유의하여야 할 점이 있는데, 본 실험 연구에서는 급기구와 배기구의 높이차에 따른 식(2)의 굴뚝효과(Stack Effect)에 대해서 고려하지 않았다는 점이다. 굴뚝효과는 급기구와 배기구의 높이차에 의해 발생하는데, 본 실험에서는 흡기구와 배기구의 높이차가 1.0 m 정도이기 때문에 Fig. 7(b), Fig. 8(b) 및 Fig. 9(b)의 실험결과는 단순히 실내와 실외공기의 온도차에 의한 환기량이다.

외기풍속의 증가에 따른 환기량의 증가패턴과 온도차에 의한 환기량의 증가패턴을 비교하면, 300 mm 사이즈는 외기풍속과 온도차에 대해 직선적인 선형성을 보이는데 비해서 450 mm와 600 mm의 경우에는 지수함수의 형태를 보임을 알 수 있다.

그리고 실내와 실외의 온도차에 의한 환기는 윈드터빈의 사이즈에 관계없이 역류현상이 발생하지 않지만 외기풍속의 경우에는 윈드터빈의 사이즈가 커지면 회전부가 무거워지므로 Table 5와 Fig. 9에 보인 것과 같이 최저회전풍속 이하에서는 역류가 발생함을 관찰할 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 국내에서 일반적으로 판매되고 있는 300 mm, 450 mm, 600 mm 사이즈 윈드터빈의 외기풍속과 실외와 실내공기의 온도차에 의한 환기량을 정량적으로 파악하기 위해 수행된 실험으로서 다음과 같은 실험 결과를 얻을 수 있었다.

- 외기풍속에 대한 윈드터빈의 환기량은 선형적으로 증가하지만 실외와 실내공기의 온도차에 의한 환기량은 지수함수적으로 증가한다.
- 식(1)과 식(2)로 주어지는 환기구동력은 윈드터빈의 흡입부 면적과 실외의 공기가 실내로 유입될 수 있는 건물의 개구부 면적과의 비에 영향을 받으며, 동일한 환기구동력에 대해 면적비가 증가할수록 환기량이 증가함을 확인하였다.
- 외기풍속에 의한 환기량 측정에서, 300 mm, 450 mm, 600 mm 사이즈 윈드터빈은 외기풍속이 각각 0.6, 0.7 및 1.6 m/s 이상에서 회전하기 시작하였고, 각 사이즈에 대응하는 이들 최저풍속 이하에서는 역류가 발생하였다. 이는 윈드터빈의 경우, 일단 회전을 시작하면 환기가 이루어진다는 것을 의미한다.
- 온도차에 의한 환기량 실험에서는 실외와 실내공기의 밀도차에 의해 환기가 발생하므로 역류현상은 발생하지 않는다.
- 일반적인 실내, 실외공기의 온도차인 10℃까지를 고려하면, 300 mm, 450 mm 사이즈의 윈드터빈의 경우에 한해 온도차 5℃는 외기풍속 1.0 m/s에 의해 발생하는 환기구동력에 대응하지만 600 mm 윈드터빈의 경우에는 이와 같은 비례성을 확인할 수 없었다.
- 온도차가 증가할수록 환기량은 증가하지만 윈드터빈의 크기가 커질수록 회전부의 무게가 증가하기 때문에 회전을 위해 요구되는 실내의 공기의 온도차 역시 증가되어야 하지만 면적비가 증가할수록 요구되는 온도차는 감소한다.

후 기

이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01058030).

References

1. Lee, S.-M., Jin, J.-H., and Song, D.-S., 2010, Feasibility Study on Natural Ventilation Design and Performance Evaluation Standard for Apartment Building in Korea, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engi-

- neers of Korea, Proceeding of SAREK, pp. 28-33.
2. Jin, J.-H. and Song, D.-S., 2010, A Feasibility of the Natural Ventilation System in Multi-residential Building, Proceeding of SAREK, pp. 568-575.
 3. Kim, Y. S., Chung, H. S., Jeong, H., and Choi, S.-H., 2016, A study on the cooling effect of an evaporating type cool roof fan (in Korean), KSME Transaction B, Vol. 40, No. 3, pp. 191-200.
 4. Choi, D.-H., Jung, Y.-H., and Sohn, J.-Y., 2005, A Study on The Characteristics of Indoor Ventilation Efficiency by the Various Ventilation Methods, The Architectural Institute of Korea, Vol. 25, No. 1, pp. 403-406.
 5. Kim, Y. D. and Cho, M. Y., 2000, A Experimental Study on Natural Ventilation of Underground Parking Lots of Apartment Buildings, J. of WEIK, Vol. 4, No. 2, pp. 165-173.
 6. Kim, M.-H. and Hwang, J.-H., 2012, A Study on the Thermal/Airflow Characteristics of an Apartment House with a Natural Supply and Mechanical Exhaust System, The Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 4, pp. 223-232.
 7. Kwon, Y.-I., Kim, D., and Han, H., 2012, Introduction on the Strategies Study for Advancement of Building Mechanical Code, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 2012, No. 11, pp. 260-265.
 8. Kim, Y. S., 2016, A study on the characteristics of the natural ventilators (in Korean), Ph. D Thesis, Gyeong-sang National University, Tongyeong, Korea.
 9. Kim, Y. S., Chung, H., Jeong, H., Song, S.-K., Yi, C., and Choi, S.-H., 2016, Experimental Study on a Fixed Type Natural Ventilator, Int. J. of Air-conditioning and Refrigeration, Vol. 24, No. 3, 1650016(1-12).
 10. Ha, H.-C., 2002, The evaluation of ventilation efficiency and the estimation of ventilation rates for gravity ventilators (in Korean), Ph. D Thesis, Changwon National University, Changwon, Korea.
 11. Kim, Y.-H., 2011, Experimental study on the effects of wind velocity and direction on natural ventilation (in Korean), Master Thesis, Hanyang University, Korea.
 12. Seo, J.-S., 2012, Field experiment on pressure coefficient, C_p , of a naturally ventilated building in low wind velocity Hanyang University, pp. 15-20.
 13. Lai, C.-M., 2003, Experiments on the ventilation efficiency of turbine ventilators used for building and factory ventilation, Energy and Building, Vol. 35, pp. 927-932.
 14. Revel, A. and Huynh, B. P., 2004, Characterizing Roof Ventilators, 15th Australasian Fluid Mechanics Conference, The University of Sydney, pp. 13-17.
 15. Song, S.-K., 2010, Field Measurement Study on the Performance of Natural Ventilation by Turbine Ventilator, Solar energy, Vol. 36, No. 1, pp. 51-57.
 16. Song, S.-K. and Matsumoto, H., 2010, A study on the natural ventilation performance of a Turbine Ventilator for houses, Proceedings of Architectural Institute of Japan Environmental Sector (Article No. 648), pp. 157-163.
 17. Song, S.-K., 2013, Experimental Study on the Performance of Natural Ventilation by Turbine Ventilator Size and Opening Size, Solar energy, Vol. 39, No. 6, pp. 71-76.
 18. Kamakura Works Co., 2013, Product brochure, Daylighting · smoke exhaustion system equipment.
 19. Ludens-w., 2014, Digital Brochure, available online at <http://www.ludens-w.co.kr/>
 20. Ernest, D. R., Bauman, F. S., and Arens, E. A., 1991, The prediction of indoor air motion for occupant cooling in naturally ventilated buildings, ASHRAE Transactions, Vol. 97, pp. 539-552.
 21. Geoffrey van Moeseke, Elisabeth Gratia, Sigrid Reiter and Andre De Herde, 2005, Wind pressure distribution influence on natural ventilation for different incidences and environment densities, Energy and Buildings, Vol. 37, pp. 878-889.
 22. Moosavi, L., Mahyuddin, N., Ghafar, N. Ab, and Ismail, M. A., 2014, Thermal performance of atria : An overview of natural ventilation effective designs, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 34, pp. 654-670.
 23. Kleiven, T., 2003, Natural Ventilation in Buildings-Architectural concepts, consequences and possibilities, Ph. D Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Alesund, Norway.