



Blower Door Test를 이용한 공동주택 자연환기시스템의 환기성능 분석

Analysis on Ventilation Performance of Natural Ventilation Systems in Multi-Family Housing Using Blower Door Test

김민석* · 어진선* · 홍구표* · 김병선**

Kim, Min Seok* · Auh, Jin Sun* · Hong, Goopyo* · Kim, Byungseon Sean**

* Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea(pinixhero@naver.com)

** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea(sean@yonsei.ac.kr)

ABSTRACT

Today, natural ventilation systems are widely applied in multi-family housing. However, studies using the wind data trend line of the blower door test are insufficient. **Purpose:** Through this study, we will propose a computational method about ventilation performance of natural ventilation systems by conducting blower door test. **Method:** First, we sealed the gaps between the main systems including the natural ventilation system and conducted the blower door test. Next, the natural ventilation system was opened, the blower door test was conducted, and the difference in air flow rate between when closed and when opened was checked. Blower door test was carried out with a pressure difference of 50 Pa. **Result:** Therefore, the ventilation performance of the natural ventilation system was checked by drawing a trend line using the data to calculate the air flow rate at 2 Pa of the natural ventilation equipment standard pressure difference.

KEYWORD

블로어 도어 테스트
자연환기시스템
환기횟수
추세선

Blower Door Test
Natural Ventilation System
Air Change Hour(ACH)
Trand Line

ACCEPTANCE INFO

Received Nov 9, 2016
Final revision received Dec 15, 2016
Accepted Dec 20, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

환기란 실내의 공기정화 또는 온열환경조건의 개선 등의 명확한 환경 개선을 목적으로 거주자가 의도적으로 실내의 공기를 교체하는 것을 의미한다.¹²⁾ 그러나 건물의 고기밀화 및 실내의 환기량 감소는 실내에서 발생하는 각종 유해물질이 제거되지 못하여 문제가 발생한다.¹⁴⁾ 2013년 5월 국토부에서 발표한 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 일부개정령(제11조 1항)에서 공동주택의 시간당 환기횟수 기준을 0.7회에서 0.5회로 조정하였다. 환기방법으로는 자연환기와 기계환기가 있다. 그 중 자연환기는 건물 에너지 절감과 쾌적한 실내 환경을 구현하기 위해 반드시 고려되어야 한다. 실제로 자연환기는 건물의 개구부를 적절한 위치에 설치하여 실내와 실외의 공기 교환이 효과적으로 이루어지도록 하여 건물 내의 공기를 자연스럽게 바꿀 수 자연환기가 가능한 평면과 구조로 계획하여 항상 신선한 공기를 확보할 수 있기 때문에 실내에 오염된 공기가 머물지 않고 별도의 환기 장치를 인위적으로 마련한 필요가 없다. 또한 자연환기를 이용한 건물은 공조시스템을 이용한 건물보다 에너지 비용이 40%까지 차이가 나는 것으로 나타났다.⁶⁾ 미국, 중국 등 주요 선진국의 경우 건물분야가 전체 에너지의 30% 이상을 차지하고 있으나 그에 비해 우리나라는 아직까지는 낮은 수치를 보이고 있다.³⁾ 그러나 세계 경제력 순위 11위(2015년 기

준)에 위치하고 있는 입장으로서는 건물분야가 차지하는 에너지 소비량이 높아질 것으로 예상된다. 또한, 환기설비가 설치된 세대 중 약 68% 정도가 환기설비를 사용하지 않는 것으로 나타났다.¹⁶⁾ 이는 사용에 따른 에너지 비용이 증가하기 때문이라고 조사되었다. 에너지 사용을 줄이면서 환기를 통해 쾌적한 실내를 확보하기 위해 실내의 온도차 또는 풍압차를 구동력으로 하는 공기유동이 일어나도록 의도적으로 설계한 외부 공기의 실내공기 용 또는 실내공기의 외부배기용 개구부를 의미¹²⁾하는 자연환기시스템 설치를 고려할 필요가 있다. 또한 자연환기와 기계환기를 선택적으로 병용할 수 있는 하이브리드 시스템의 적극적인 개발이 고려되어야 하며 쾌적한 실내공기질의 확보와 불필요한 에너지 손실의 방지를 위해서는 정확한 성능 평가 방법이 제시될 필요가 있다.¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 Mock-up 모델로 자연환기시스템의 환기성능을 측정할 연구들도 있지만 실제 공동주택에 설치된 자연환기시스템을 대상으로 자연환기시스템을 제외한 모든 틈을 고정변수로 정하고 Blower door를 이용하여 자연환기시스템의 개폐 여부에 따라 발생하는 압력 변화에 따른 풍량 차이를 확인하였습니다. 이를 토대로 추세선(다항식)을 계산하고 자연환기 시 기준 압력차는 2Pa⁷⁾이지만 이 차를 구현하여 환기시스템의 환기성능을 확인하는 것이 어려우므로¹⁾ Blower door test를 통해 계산된 추세선을 이용하여 기준 압력차가 2Pa일 때의 풍량을 예측함으로써 자연환기시스템의 환기성능을 확인하는 방법을 제시하고자 한다.

1.2. 기존문헌 고찰

최근 Tracer gas와 Blower door를 이용한 실측을 통해 많은 연구가 이뤄지고 있다. 기존 주택을 포함해서 최근에 지어진 주상복합 건물 및 공동주택들을 대상으로 건물외피의 기밀성능(Air tightness)을 실측하고, 기존의 관련 문헌과 비교하여 과거에 비해 현재 건설되고 있는 주거용 건물들의 기밀성능 개선정도를 정량적으로 파악하였다.³⁾ Blower door를 이용한 침기량 측정값을 통해 단독주택의 에너지 소비량 진단 시 건축도서와 현장점검으로 침기량을 산정하는 방안을 제시하였고²⁾, 근래 국내 아파트 보급이 급속히 이루어짐에 따라 아파트 기밀성능이 향상되어 자연환기가 감소되고 건강에 나쁜 영향을 미칠 수 있다는 사실을 발견하여 아파트를 중심으로 환기 및 기밀성능을 Blower door를 이용한 현장측정을 통해 아파트의 환기 및 기밀수준의 현황을 비교 분석하였다.¹⁾

Blower door를 이용한 자연환기시스템의 환기량 실험을 압력차 조건을 이용한 CFD 시뮬레이션 결과를 비교하여 해석의 정확도를 평가하고 이를 토대로 CFD 시뮬레이션과 네트워크 기류해석 시뮬레이션을 이용하여 자연환기설비의 환기량을 해석하고자 하였다.⁵⁾ 또한, 기밀성능 측정방법으로 Blower door를 이용한 감압법과 가압법 측정법을 통해 ASTM E779-03 기준으로 약 240세대에서 측정을 하여 국내 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 및 특성 파악을 목적으로 2010년 하반기 준공예정인 2개의 초고층 주거 건물을 대상으로 기밀측정을 수행하였다. 이를 통해 고층 주거건물에서의 기밀성능 평가를 위해서는 다세대 주거에서의 기밀성능측정과 건축 부위별 기밀도 측정을 통한 데이터 구축이 지속적으로 요구되며 이를 바탕으로 국내 기밀도 기준 수립을 위한 연구가 진행되어야 함을 제시하였다.⁴⁾ 또한 공동주택의 환기성능 개선방안으로 적정환기량의 공급에 의한 쾌적한 실내공기환경을 창출하는 동시에 환기열손실로 인한 난방에너지를 보충할 수 있는 에너지 절약적인 환기시스템의 개발을 목적으로 진행되고 있으며, 공동주택의 실내공기환경 실태를 파악한 후 가스추적법과 압력차법을 이용, 공동주택의 환기성능을 실측, 평가한 연구도 진행된 바가 있다.¹⁵⁾

2. Blower door test set-up

Blower door test는 실내를 가압, 감압하여 이 때의 공기의 유동량을 측정하는 가압법(Pressurization Method)과 감압법(Depressurization Method)가 있다. 가압법과 감압법은 공조시스템이나 팬을 사용하여 실내를 가압 또는 감압한 후 내부에서 외부로 흐르는 공기의 유량(가압법), 외부에서 내부로 흐르는 공기의 유량(감압법)을 측정하여 건물의 기밀성을 확인하는 방법²⁾이다. 고층 또는 대규모 건물의 외피를 측정할 때에는 중앙 공조시스템을 이용하여 가압 또는 감압할 수 있으며, 단독주거나 공동주택의 1세대와 같은 작은 규모를 측정할 경우에는 Blower door fan을 이용하여 측정할 수 있다.¹³⁾ Blower door를 이용한 방법은 측정하고자 하는 실의 문에 팬과 유량측정장치를 설치하여 일정 압력으로 외부와의 차압을 유지시키기 위해 필요한 기류량을 측정하여 건물 틈으로 발생하는 풍량을 구하는 것이다. 압력차 측정법에 있어서 공기유동량은 실내의 압력차와 침기량 또는 누기량과의 상관관계식인 식(1)을 통해 구할 수 있다. 단위실 또는 건물전체 측정은 일반적으로 압력차를 10Pa에서부터 약 100Pa 정도에 걸쳐 5~10Pa 간격을 압력차를 가하면서 각 압력차에 따른 공기유동량을 측정하여 해당 건물의 공기유동량을 산정¹⁰⁾하게 된다.

$$Q = Z(\Delta P)^n$$

(1)

여기서, Q : 실의 체적(m³)

Z : 누기계수(-)

ΔP : 실내외 차압(Pa)

n : 압력차 지수(-)

Blower door test의 장점은 건물전체, 부위별 기밀성 평가 및 신속한 측정이 가능하다. 그리고 적은 비용으로 실측이 이루어질 수 있으며 외부 기상조건에 영향을 적게 받기 때문에 실측 시기 결정이 자유롭다는 장점이 있다.

본 연구에서 다루는 자연환기시스템은 자연환기의 원리를 적용시킨 방식이다. 자연환기는 실내외 온도차 또는 압력차로 환기가 이루어지며, 국토교통부령 제219호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에서 자연환기설비 환기성능 시험방법(KSF 2921)에서는 기준압력차를 2Pa로 보고 있고 축소모형실험(Mock-up test)인 경우 환기성능을 측정할 때는 기준압력차가 4Pa이다. 따라서 Blower door를 이용하여 압력차가 2Pa일 때와 4Pa일 때 자연환기시스템의 환기성능을 확인해보았다.

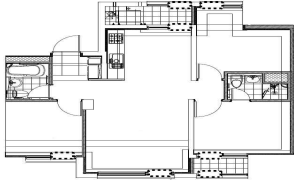
3. 환기량 측정

3.1. 대상건물개요

충북 음성 혁신도시에 위치한 S아파트 단지(9개동, 900세대) 중 1개 세대를 선택하였으며 대상건물의 개요는 Table 1과 같다. Table 1에서 평면도 상 점선으로 표시된 부분이 자연환기시스템이 설치된 곳이다. Blower door test를 하는데 필요한 건물 정보는 Table 1에 제시되어 있다.

자연환기는 실내외 온도차 또는 압력차로, 건물의 개구부 등으로 실내외 외기의 유동이 발생하면서 실내공기가 교환되는 현상을 의미한다. Fig. 1은 이러한 자연환기원리를 적용시킨 자연환기시스템의 형상을 나타낸 것이다. 자연환기시스템은 창문일체형으로 설치되고 재실자가 개폐상태를 조절할 수 있다. 환기시스템 내부에는 외기가 도입될 때 미세한 먼지 등을 걸러낼 수 있는 필터가 장착되어 있고 탈부착이 가능하다. 자연환기시스템은 적은 양이지만 정량적 환기를 가능하게 하여 과도 환기에 따른 에너지 손실을 방지할 수 있다.

Table 1. Unit information

Name		Contents
Household plan		
Building description	Ceiling height (m)	2.3
	Height(m)	54 (20th floor)
	Elevation(m)	104.7
	Enclosed area(m ²)	83.1
	Envelop area(m ²)	92.5
	Volume (m ³)	191.1

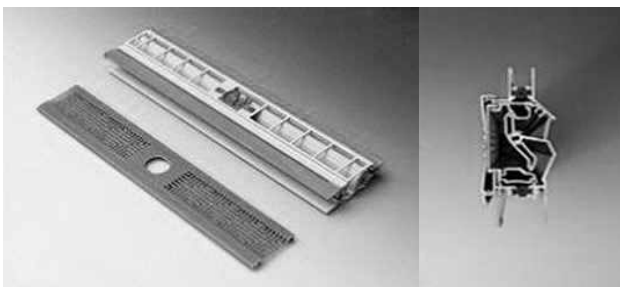


Fig. 1. The shape of natural ventilation system

3.2. 실측방법

현장 측정에 사용된 Blower door는 Retrotec사의 Blower door⁹⁾를 사용하였다. 장비는 Fig. 2과 같은 구성품으로 이루어져 있고 8,100CFM까지 풍량 제어가 가능하다. Fig 3.은 자연환기시스템의 환기성능을 확인하기 위한 연구 순서를 작성한 것이다.



Fig. 2. Components of blower door

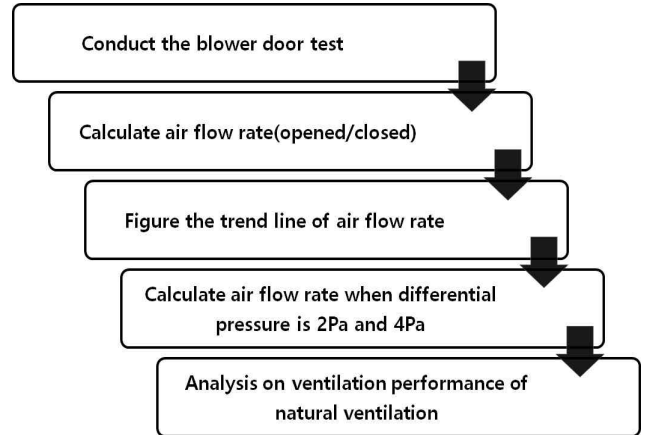


Fig. 3. Work flow chart

① Blower door test를 진행하기 전 기밀도 측정의 신뢰성을 갖기 위해 권장 외기 온도와 풍속 조건 등이 있다. 예를 들어 실내외 온도차로 인한 연돌효과 영향으로 실측값의 신뢰도가 저하 되는 경우도 발생한다. 이번 실험은 Table 3에 제시되어 있는 ASTM E779-03 기준에 준하여 외부 조건을 판단하였다. Table 2는 실측 당시 시간별 풍속과 외부 온도를 기상청 자료를 이용하여 정리한 것이다. Table 2와 같이 외부 평균 온도는 17.4°C이며, 실내외 온도차는 2.6°C, 높이는 54m이기 때문에 Table 3의 ASTM E779-03의 기준을 만족하므로 Blower door test를 진행하였다.

Table 2. Weather data

Name	Time	Velocity (m/s)	Outdoor Temperature(°C)
Data	09:00	0.5	10.7
	10:00	0.4	13.0
	11:00	0.6	15.7
	12:00	1.0	18.3
	13:00	0.8	20.5
	14:00	0.9	21.4
15:00	1.4	22.1	
Average		0.8	17.4

Table 3. The recommended exterior conditions

Name	Temperature condition(°C)	wind velocity (m/s)	Differential pressure range(Pa)
ASTM E779-03	· 5~35 (OAT) · ≤ 200m·K (Δt * H)	0~2	10~60
CGSB 149.15-96	· ≤ 10 th floor → ≥ 5(OAT) · 11 th floor ~ 20 th floor → ≤ 8(OAT) · 21 st floor ~ 30 th floor → ≤ 10(OAT) · ≥ 31 st floor → ≥ 15(OAT)	≤ 5.56	15~60
CIBSE TM 23-2000	· < 10 (Δt)	≤ 3	20~60

※ OAT : Outdoor Air Temperature(°C)

※ Δt : [Indoor air temperature - Outdoor air temperature] (°C)

※ H : The height of building(m)

② Fig. 4와 같이 Blower door test를 진행하기 전 자연환기시스템의 개폐한 경우 성능을 측정해야하기 때문에 실내에 존재하는 환기구, 주방 후드 등 누기가 예상되는 부위를 찾아 밀봉한다.

③ Blower door를 Fig. 4의 c)와 같이 설치한다. 송풍기의 토출구 및

흡입구 주변에는 기류에 방해가 되는 장애물이 없어야 한다. 실내 공간 전체에 동일한 차압이 유지되도록 하기 위해 외부로 통하는 개구부를 제외한 실내의 모든 문들은 개방하였다.



a) Sealing the ventilation b) Sealing the hood c) Install the blower door
Fig. 4. Sealing leakages and installing the device

④ Blower door를 이용하여 송풍기로 외기를 실내로 도입하는 가압법(Pressurization Method)과 5~10Pa 간격으로 차압을 유지하면서 실내공기를 외부로 배출시키는 감압법(Depressurization Method)을 둘 다 사용하여 ACH50²⁾을 산정하고 그 값을 비교하였다. 본 연구에서는 20~90pa까지 압력을 10pa 간격으로 풍량을 측정하였고 이에 따른 추세선을 도출하였다.

3.3. 실험결과

가압법과 감압법을 각각 측정하였고 Table 4는 차압이 50Pa일 때 개폐에 따른 가압법과 감압법의 풍량과 ACH50을 나타낸 것이다. 자연환기시스템 개폐 상태에 따른 감압법(Depressurization Method)과 가압법(Pressurization Method)을 실시하였고 두 방법의 결과는 각각 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 유사하게 측정되어 실험이 타당성을 가질 수 있었다. Fig. 5와 Fig. 6에서 20~90Pa까지 측정된 데이터를 바탕으로 Table 5와 같이 추세선을 계산하였다. 국토교통부령 제219호 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제11조 2항에 따르면 자연환기설비 설치 기준압력차는 2Pa 이라고 제시되어 있고 또한, 축소모형실험일 경우 기준압력차를 4Pa로 보기 때문에 2Pa와 4Pa일 때 추세선 함수값을 통해 자연환기시스템 개폐에 따른 ACH를 각각 계산하여 Table 6에 나타냈다. 여기서 열려있을 때 ACH에서 닫혀있을 때의 ACH를 빼주게 되면 자연환기시스템을 통해 발생한 ACH(Table 6의 ΔACH값)를 계산할 수 있다.

Blower door test를 진행하기 전 실험의 신뢰성을 얻기 위해 외기조건과 건물정보를 토대로 ASTM E779-03 기준에 적합하다고 판단 후 실험을 진행하였다.

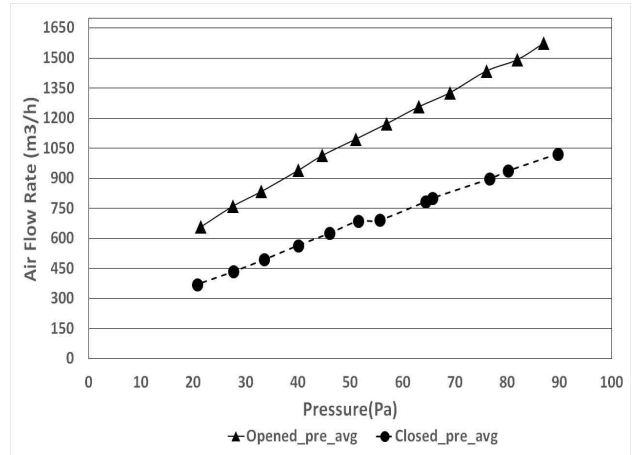


Fig. 5. The result of blower door test (pressurization method)

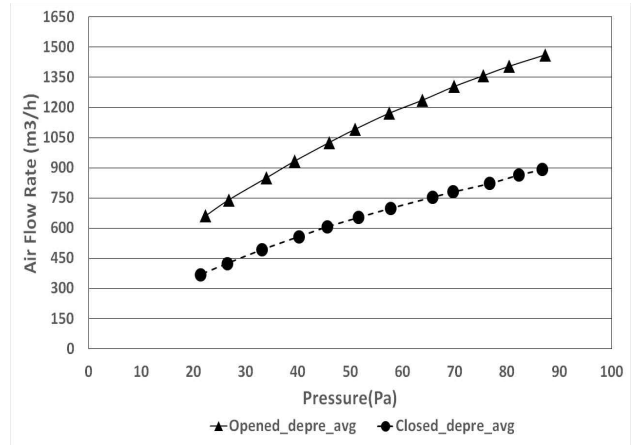


Fig. 6. The result of blower door test (depressurization method)

Table 4. The result of measurement

Method	Opened & closed	Air flow rate (m³/h)	ACH50
Depressurization	Closed(1)	640.19	3.35
	Closed(2)	641.30	3.36
	Opened(1)	1076.54	5.64
	Opened(2)	1082.63	5.67
Pressurization	Closed(1)	674.37	3.53
	Closed(2)	665.15	3.48
	Opened(1)	1077.26	5.64
	Opened(2)	1088.22	5.70
Measurement time	09:00 ~ 15:00 (6h)		

※ Set-point temperature : 20°C

Table 5. The calculation of the trend line

Method	Condition	The function of trend line
Depressurization	Closed	$y = -0.0388x^2 + 12.057x + 132.99$
	Opened	$y = -0.0717x^2 + 20.092x + 252.13$
Pressurization	Closed	$y = -0.0081x^2 + 10.303x + 160.14$
	Opened	$y = -0.0218x^2 + 16.131x + 328.09$

※ x : Pressure(Pa), y : Air flow rate(m³/h)

Table 6. The difference between opened and closed conditions

Pressure (ΔP)	Method	The average of ACH(1/h)		Δ ACH(1/h) [opened-closed]
		Closed	Opened	
2Pa	Depressurization	Closed	0.82	0.71
		Opened	1.53	
	Pressurization	Closed	0.95	0.94
		Opened	1.89	
4Pa	Depressurization	Closed	0.95	0.79
		Opened	1.73	
	Pressurization	Closed	1.05	1.00
		Opened	2.05	

20~90Pa 영역을 10Pa 간격으로 ACH50을 측정하고 해당 추세를 계산하였다. 이를 통해 실내의 차압이 2Pa일 때와 4Pa일 때 자연환기시스템의 개폐에 따른 감압법과 가압법의 결과는 Table 6과 같이 2Pa일 때 각각 0.71회/h, 0.94회/h(평균 0.83회/h)였으며 4Pa일 때는 0.79회/h, 1.00회/h(평균 0.9회/h)로 나타났다. Table 6과 같이 자연환기시스템의 개폐 상태를 실측 시 하나의 변수로 설정하였고 시스템이 열려있는 상태를 하나의 틈으로 보고 실내의 압력차가 2Pa과 4Pa일 때 그 틈을 통해 발생하는 ACH값을 도출하여 자연환기시스템의 환기성능을 알아보았다.

3.4. 실측결과의 비교

Blower door를 이용한 환기성능을 측정하면서 자연환기시스템이 닫혀 있을 때의 기밀성 측정을 동시에 진행하여 국가별 평가기준과 비교해보았다. 벨기에의 경우에는 기계환기시스템과 폐열회수시스템을 도입했을 때의 기준이므로 제외한 후 나머지 3개 국가 기준과 비교하였고 추가적으로 Table 7과 같이 ASHRAE Fundamental 119⁸⁾의 NL³⁾기준도 비교해보았다.

Table 7. ASHRAE Standard 119-1988 Leakage class

Leakage Class	Range of NL area
A	NL < 0.10
B	0.10 ≤ NL < 0.14
C	0.14 ≤ NL < 0.20
D	0.20 ≤ NL < 0.28
E	0.28 ≤ NL < 0.40
F	0.40 ≤ NL < 0.57
G	0.57 ≤ NL < 0.80
H	0.80 ≤ NL < 1.13
I	1.13 ≤ NL < 1.60
J	1.60 ≤ NL

Table 8. The airtightness measurement of closed condition

ΔP (Country)	The ACH of criteria(1/h)	Method	Measurement	
			ACH (1/h)	Average (1/h)
4Pa (USA)	0.4	Depressurization	0.95	1.00
		Pressurization	1.05	
10Pa (Japan)	1.0	Depressurization	1.31	1.34
		Pressurization	1.37	
50Pa (Canada)	1.5	Depressurization	3.36	3.44
		Pressurization	3.51	

※ ΔP : (Outdoor pressure - Indoor pressure)

Table 9. The NL measurement of closed condition

Pressure	Method	ELA(m ²)	The ELA of average(m ²)	NL(-)
4Pa	Depressurization	0.03	0.035	6.1×10^{-5}
	Pressurization	0.04		

Table 10. A valuation criterion of countries

Country	Permissible air infiltration rate (ACH)	Differential pressure (Pa)
USA	0.4	4
Canada	1.5	50
Belgium	3.0	50
	1.0	
Japan	1.0	10

Table 8은 3개 국가별 기준과 자연환기시스템이 닫힌 상태에서 실측한 결과를 비교한 것이다. 먼저 미국, 일본, 캐나다 등의 선진국에서는 Table 10과 같이 건물의 기밀성능을 측정하여 평가 기준을 제시했다. 미국의 경우에는 4Pa의 차압이 발생했을 경우 유효누기면적(ELA)³⁾를 고려하여 환산 후 평가한다. 벨기에의 경우에는 50Pa의 차압이 발생했을 경우 기계환기시스템을 도입했을 때는 3ACH, 폐열회수시스템을 적용했을 때는 1ACH를 허용 누기량으로 보고 있다. 일본은 일반 주택의 경우 1.0ACH를 허용 누기량으로 본다.

미국 기준과 비교하였을 때 ACH차이가 0.6회/h로 나타났고 일본과는 0.34회/h, 캐나다 기준과는 1.94회/h 차이가 나타났다. 추가적으로 NL(Normalized leakage area)를 계산하여 ASHRAE 기준과 비교해보았다. NL을 계산하기 위해서는 ELA(유효누기면적)값을 알아야 하는데 이 수치는 실내와 실외의 기준 압력차를 4Pa로 설정해놓았기 때문에 그 때의 ELA값을 계산하여 NL값을 도출하였다. Table 9에서의 NL값으로 0.000061이 나왔고 이는 ASHRAE Fundamental 119의 NL 기준에서 Leakage Class A에 해당된다.

4. 결론

본 연구에서는 공동주택에 설치된 자연환기시스템을 대상으로 Blower door를 이용하여 확보한 압력 변화에 따른 풍량 데이터를 토대로 추세를 계산하였다. 자연환기 시 기준 압력차는 2Pa이지만 이 차를 구현하여

환기 시스템의 환기성능을 확인하는 것이 어려우므로 Blower door test를 통해 압력 변화에 따른 풍량 수치를 계산하고 이를 추세선으로 나타내어 2Pa일 때의 풍량을 예측하여 자연환기시스템의 환기성능을 분석하고자 하였다.

먼저 감압법과 가압법으로 Blower door test를 실시하여 자연환기시스템의 개폐에 따른 ACH값을 도출하였다. 그 후 20~90Pa 사이를 10Pa 간격으로 환기량을 측정된 데이터를 기반으로 추세선을 계산하여 자연환기 기준압력차인 2Pa과 4Pa인 경우의 환기성능을 분석하였다. 그 결과 2Pa인 경우 감압법을 사용했을 때 0.71회/h, 가압법을 사용했을 때는 0.94회/h가 나왔고, 4Pa인 경우 감압법을 사용했을 때 0.79회/h, 가압법을 사용했을 때는 1.00회/h로 나타났다. 추가적으로 Blower door test를 이용한 자연환기시스템의 환기성능 분석과 자연환기시스템이 닫힌 상태에서 해당 세대의 기밀성을 국가별 기준과 ASHRAE기준에 준하여 비교하여 기밀성에 대한 부분도 동시에 확인하였으며 그 결과는 미국, 일본, 캐나다 순으로 각각 0.6회/h, 0.34회/h, 1.94회/h 만큼 차이를 보였고 NL 기준에 따르면 0.000061이 나와 Leakage class A에 해당됨을 알 수 있었다.

따라서 자연환기시스템이 닫힌 상태에서는 해당 세대의 기밀성이 확보된다고 볼 수 있으며 자연환기시스템 개방 시 자연환기시스템을 통해 공동주택의 시간당 기준 환기횟수인 0.5회/h이상을 만족시킨다는 것을 알 수 있었다.

Acknowledgements

This research is a research project supported by the Korea Research Foundation in 2016. (No. 2015R1D1A1A01057928)

Reference

- [1] 안태경, “아파트의 환기 및 기밀수준 성능에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제15권 1호, pp.197-205, 1999.1 // (Ahn, Tae-Kyung, A Study on the Performance of Natural Ventilation and Infiltration Level in Apartment Buildings, Journal of AIK, Vol. 15, No. 1, pp.191-205, 1999.1)
- [2] 김길태, 유정현, 황하진, 김경식, “기존 단독주택의 침기량 산정법에 관한 연구”, 대한설비공학회 논문집 Vol. 25, No. 9, pp.493-498, 2013 // (Kim, Giltae, Yoo, Jung-Hyun, Hwang, Ha-Jin, Kim, Kyoung-Sik, A Study on the Calculation Method of Infiltration for Detached Houses, Journal of SAREK, Vol. 25, No. 9, pp.493-498, 2013)
- [3] 권오현, 김진효, 김민휘, 석운진, 정재원, “Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀도 실측 사례 분석”, 대한건축학회 논문집 제26권 제7호, pp.303-310, 2010.7 // (Kwon, Oh-Hyun, Kim, Jin-Hyo, Kim, Min-Hwi, Seok, Yoon-Jin, Jeong, Jae-Weon, Case Study of Residential Building Air Tightness in Korea based on Blower Door Test Approach, Journal of AIK, Vol. 26, No. 7, pp.303-310, 2010.7)
- [4] 조재훈, “초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가”, 대한건축학회 논문집 제26권 제10호, pp.337-344, 2010.10 // (Jo, Jae-Hun, Measurements of the Dwelling Unit Airtightness in High-rise Residential Buildings, Journal of AIK, Vol. 26, No. 10, pp.337-344, 2010.10)
- [5] 최태환, 김태연, 이승복, “수치해석을 이용한 자연환기설비의 환기량 해석에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제23권 제9호, pp.181-188, 2007.9 // (Choi, Tae-Hwoan Kim, Tae-Yeon Leigh, Seung-Bok, A Study on Ventilation Rate Analysis of Natural Ventilation System by Numerical Analysis, Journal of AIK, Vol. 23, No. 9, pp.181-188, 2007.9)
- [6] 노상태, 김강수, “Single-sided 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제21권 제8호, pp.227-234, 2005.8 // (No, Sang-Tae Kim, Kang-Soo, A Study on the Characteristics of Natural Airflow Through Single-sided Openings with Variable Position and Geometry, Journal of AIK, Vol. 21, No. 8, pp.227-234, 2005.8)
- [7] 신철웅, 이윤규, “환기설비가 적용된 공동주택의 기밀성능 특성 연구”, 대한설

- 비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp.342-345, 2012 // (Shin, Cheol-Woong, Lee, Yun-Gyu, A Study on Airtightness Performance of Apartments adopting Ventilation System, Conference Journal of SAREK, pp.342-345, 2012)
- [8] ASHRAE Handbook 2003 HVAC Applications, Chapter. 43, Standard 119-1988, 2003
- [9] Retrotec 6112F Hi-Power Fire Manual(<http://retrotec.com/products/6112f-hi-power-fire>)
- [10] 박진우, 배상환, 홍천화, “공동주택의 자연환기 성능평가”, 대한설비공학회 하계학술발표대회, pp.637-643, 2001 // (Park, Jin-Woo, Bae, Sang-Hwan, Hong, Chcon-Hwa, An Evaluation on Natural Ventilation in Apartment Houses, Conference Journal of SAREK, pp.637-643, 2001)
- [11] 김선숙, 이윤규, “자연환기설비의 성능향목 분석 및 환기성능 평가에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제24권 제12호, pp.295-302, 2008.12 // (Kim, Sun-Sook Lee, Yun-Gyu, A Study on the Performance Characteristics and Ventilation Performance Evaluation of Natural Ventilators, Journal of AIK, Vol. 24, No. 12, pp.295-302, 2008.12)
- [12] 건설교통부, 한국건설기술연구원, “새집증후군 저감을 위한 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비 설치기준 해설서 - 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 일부개정 관련(건설교통부령 제497호)”, 2006 // (Ministry of Construction and Transportation, Korea Institute of Construction Technology, "Guideline on Establishment of Ventilation Facilities for Apartment Houses and Multi-use Facilities to Reduce Sick House Syndrome - Regulations on Building Facilities Standards" (Ministry of Construction and Transportation No. 497, 2006)
- [13] 구성환, 조재훈, 여명석, 김광우, “실측을 통한 초고층 주거건물의 기밀도 특성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집 제24권 1호, pp.757-760, 2004.4 // (Koo, Sung-Han, Jo, Jae-Hun, Yeo, Myoung-Souk, Kim, Kwang-Woo, A Study on the Characteristic of the Airtightness in High-rise Residential Building by Field Measurement, Journal of AIK, Vol. 24, No. 1, pp.757-760, 2004.4)
- [14] 전주영, 김길태, 김선동, “자연환기장치기 적용된 공동주택의 기밀 및 공기 유동 성능 실측 연구”, LHI Journal 제5권 4호, pp.325-332, 2014 // (Chun, Chu-Young, Kim, Gil-Tae, Kim, Sun-Dong, A Study of Measurement on Airtightness and Air-Flow Performance of Apartment Housing Adopting Window Frame-Type Natural Ventilation, LHI Journal, Vol. 5, Issue 4, pp.325-332, 2014)
- [15] 김기훈, 홍봉재, 김상욱, 심재역, 박철림, “가스추적법과 압력차법에 의한 공동주택의 환기성능 측정”, 대한건축학회 논문집 제18권 제2호, pp.829-834, 1998.10.31 // (Kim, Ki-hoon, Hong, Bong-Jae, Kim, Sang-Wook, Shim, Jae-Eok, Park, Chil-Lim, A Measurements of Ventilation Performance by Tracer-Gas and Fan Pressurization in Apartment Houses, Journal of AIK, Vol. 18, No. 2, pp.829-834, 1998.10.31)
- [16] 김형준, 박준석, “환기설비 운전이 공동주택 연간 에너지소비비에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 제29권 제1호, pp.757-760, 2009.10 // (Kim Hyung-Jun, Park Jun-Seok, Effects of Ventilation System Operation on Annual Energy Consumption in Apartments, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 1, pp.757-760 2009.10)