

자연환기 시스템을 이용한 고층 공동주택의 환기성능 향상에 관한 연구

A Study on Improving Ventilation Performance in High-rise Residential Building by Natural Ventilation System

최 태 환*	김 유 미**	김 태 연***	이 승 복****
Choi, Taehwoan	Kim, Yu-Mi	Kim, Taeyeon	Leigh, Seung-Bok

Abstract

This study focuses on developing natural ventilation system which is able to satisfy the good indoor air quality and air speed. The natural ventilation system developed in this study is for double window façade and it has two operation modes for summer and winter. Operational sections of the devices have been analyzed by CFD simulation to calculate discharge coefficients of openings and estimated indoor air speed. For the analysis of the appropriate installation area ratio for each room and the optimum installation area, TRNFLOW simulation has been used. As the results, we could see that the natural ventilation system can provide the similar pollutant removal performance to 0.7 ACH of mechanical ventilation with appropriate installation area and installation area ratio.

키워드: 자연환기, 고층 공동주택, 전산유체역학, 네트워크 기류해석

Keywords : Natural ventilation, High-rise residential building, CFD, TRNFLOW

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

IMF 이후 한국의 건설사들은 정체된 건설시장에서의 돌파구로 다양한 전략적 다변화를 선택하였으며, 이 중 주거 건물의 고층화, 고급화 전략은 양질의 주거환경에 대한 소비자들의 기호에 힘입어 더욱 발전하여 주택건설시장의 큰 트렌드로 자리 잡았다. 이러한 고층 공동주택은 기존의 공동주택과 차별화된 다양한 전략으로 현대인의 새로운 생활방식을 수용하고 이에 걸맞은 서비스를 제공하고 있으나, 열악한 실내환경으로 인해 실내환경을 쾌적하게 조절하기 위해 많은 에너지를 사용할 뿐 아니라, 재난 시 대피 및 심리적 불안감 등의 여러 가지 문제점들을 해결하지 못하여 지속 가능한 건축 또는 에너지 절약형 건축이라는 최근의 동향에 역행하고 있다. 특히 고층건물의 상층부에서는 건물주변의 빠른 기류속도로 인해 창의 개방을 통한 자연환기가 거의 불가능하여, 환기를 통한 실내 공기질 확보 및 재실자의 쾌적에 대한 문제점들이 대두되고 있다. 이에 따라, 건설교통부는 2006년 1월 ‘다중 이용시설 등의 실내 공기질 관리법’을 시행, 100세대 이상의 공동주택을 환기설비 설치 대상으로 선정하였으며, 2006년 2월에는 ‘건축물의 설비 기준 등

에 관한 규칙’의 개정을 통하여 신축 또는 리모델링하는 주택에서의 필요 환기량을 시간당 0.7회로 정하고 자연환기설비 또는 기계환기설비 설치를 의무화하였다. 그러나 대부분의 건설사들은 기계환기설비를 환기의 대안으로 선택하고 있는 실정이며, 이러한 기계환기장치의 사용은 에너지사용량 증가를 초래하며 관리미흡 혹은 고장 시 환기를 대체할 수 있는 수단이 없는 등의 문제로 인해 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)을 야기할 수 있다. 이러한 맥락에서 상시 적절한 공기를 실내로 도입하여 쾌적한 실내공기환경을 제공할 수 있는 자연환기 시스템 개발의 필요성은 계속 증대하고 있다. 환기의 목적은 실내공기질의 확보, 배열을 통한 냉방, 쾌적한 실내기류 조성의 세 가지로 나눌 수 있으나, 본 연구에서는 자연환기 시스템의 가장 기본적인 역할을 실내공기질의 확보와 쾌적한 실내기류를 조성하는 것으로 정의하고 이를 만족시킬 수 있는 자연환기 시스템의 대안을 제안하고자 한다.

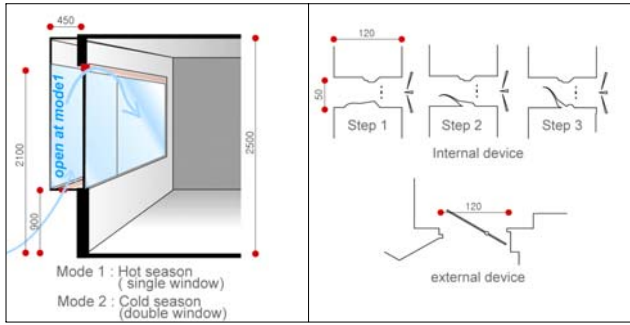
2. 해석대상 선정

2.1 프로토타입 선정

자연환기 시스템의 프로토타입은 돌출형 이중창의 창틀과 통합된 방식으로 그림1과 같이 설치하였으며 모드1(냉방기)과 모드2(난방기)로 나누어 운영한다. 자연환기설비의 자연환기장치는 내측장치와 외측장치로 구분되며

* 주저자, 연세대학교 건축공학과 석사과정
 ** 연세대학교 건축공학과 석사과정
 *** 연세대학교 건축공학과 교수
 **** 교신저자, 연세대학교 건축공학과 교수 (sbleigh@yonsei.ac.kr)

작동범위에 따른 각 단면은 그림1의 b)와 같다. 각각의 장치는 외기온이 높은 모드1에서는 외측 창을 연 상태에서 내측장치만 사용하고 외기온이 낮은 모드2에서는 예열효과를 위하여 외측창을 닫고 내·외측 장치를 함께 사용한다.



a) 설치위치 및 운영모드 b) 장치 단면

그림 1. 프로토타입

2.2 해석대상

프로토타입의 설계와 실적용에 따른 성능평가를 위해 P아파트 전용면적이 약160m² 인 30층의 주호를 해석대상으로 선정하였다. 주동의 형태는 탑상형(4호병렬)에 남향이며 주동은 4bay로 주방을 제외한 거실과 방 1,2,3,4와 식당부분의 발코니를 확장한 형태이다.

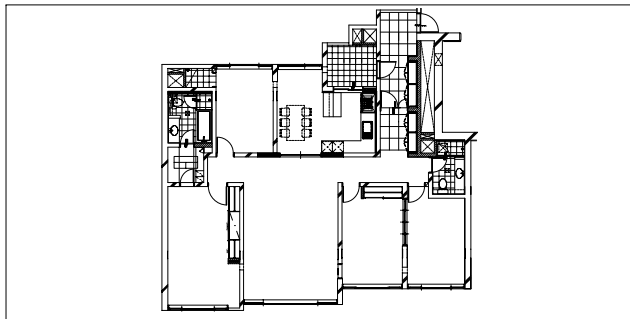


그림 2. 해석대상평면

3. 이론적 고찰

3.1 외부압력조건

바람에 의한 풍압차는 베르누이(Bernoulli) 공식에 의해 계산할 수 있으며 풍압차에 의해 발생하는 건물의 표면 압력차는 식(1)과 같이 풍압계수(Wind pressure coefficient)에 의해 정의할 수 있다.

$$\Delta P_s = C_p \cdot \Delta P_v = C_p \cdot \frac{\rho_a U_H^2}{2} \quad (1)$$

ΔP_s : 표면 압력차 [pa]

C_p : 풍압계수 [-]

ΔP_v : 풍압차 [pa]

U_H : 높이 H에서의 풍속 [m/s]

ρ_a : 공기의 밀도 (kg/m³)

일정 높이의 풍속은 관측점에서의 풍속의 상대적인 값으로 식(2)에 따라 계산할 수 있다.

$$U_H = U_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{a_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^a \quad (2)$$

U_{met} : 관측점에서의 풍속 [m/s]

H_{met} : 관측점의 높이 [m]

δ_{met} : 관측점에서의 바람의 경계면 높이 [m]

δ : 건물이 위치한 지점의 바람의 경계면 높이 [m]

H_{met} : 관측점의 높이 [m]

H : 건물의 높이 [m]

a_{met} : 관측점에서의 풍속분포 지수 [-]

a : 건물이 위치한 지점의 풍속분포 지수 [-]

3.2 압력차에 의한 환기량

압력차는 풍속의 제곱에 비례하는 함수이며, 개구부를 통한 환기량은 실험식에서 압력차의 제곱근에 비례한다. 따라서 순수 압력차에 의한 환기량은 식(3)과 같다.

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{2\Delta P_v / \rho_a} \quad (3)$$

Q : 환기량 [m³/h]

C_d : 유량계수 [-]

A : 개구부 넓이 [m²]

여기서, 유출계수 C_d 는 개구부의 환기효율을 나타내는 값으로서, 개구부의 형상과 주변조건에 의해 변화한다. Pelletret¹⁾의 연구에 따르면, 실내의 두 실을 연결하는 문의 유출계수는 실의 높이와 개구의 높이에 영향을 받으며, 측정값은 다음과 같다.

$$C_d = 0.609 \cdot H_{rel} - 0.066 \quad , \quad \text{if } 0.2 \leq H_{rel} \leq 0.9 \quad (4)$$

$$C_d = 0.0558 \quad , \quad \text{if } H_{rel} < 0.2$$

$$C_d = 0.4821 \quad , \quad \text{if } 0.9 < H_{rel}$$

with: $H_{rel} = H / H_{room}$

H : 개구부의 높이 [m]

H_{room} : 실의 높이 [m]

4. 자연환기 시스템의 설계 및 평가

4.1 자연환기의 원인

자연환기는 공기의 온도에 따른 밀도차에 의한 압력차와 건물에 부는 바람에 의한 풍압차에 의해 발생한다. 실

1) Pelletret, R., Soubra, S., Keolholz, W.Gaduel, E. Environment de simulation pour les calculs thermiques et aerodynamiques (simulation for thermal and airflow design), Val-Bonne, Paris, France, CSTB. 1994

온이 외기온보다 높으면 실내 공기 밀도가 낮아지므로 가벼워진 공기는 상승하고 이때 개구부 상부 압력이 하부보다 높아져 공기의 이동이 일어나며 실온이 외기온보다 낮은 경우는 반대의 현상이 발생한다. 건물로 불어오는 바람은 건물 주변에 복잡한 기류를 만들며 정압부위는 대기보다 높은 기압을 부압부위는 대기압보다 낮은 압력을 가지게 되어 실내 개구를 통한 환기의 원인이 된다. 본 연구의 대상인 자연환기 장치의 프로토타입은 개구부 세로 길이가 매우 짧고 본 연구는 건물 전체가 아닌 일정 높이의 단일 주호만을 고려하므로 온도차에 의한 압력은 환기의 원인으로 크게 작용하지 않을 것으로 사료되어 연구의 편의를 위하여 풍압에 의한 환기만을 자연환기의 원인으로 고려하였다.

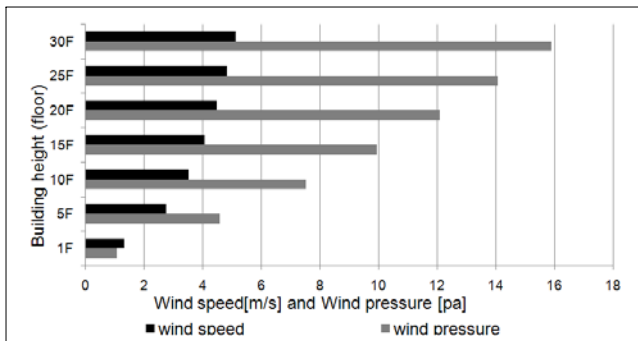
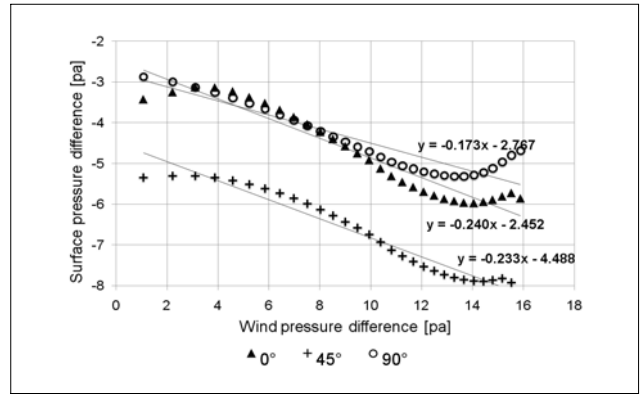


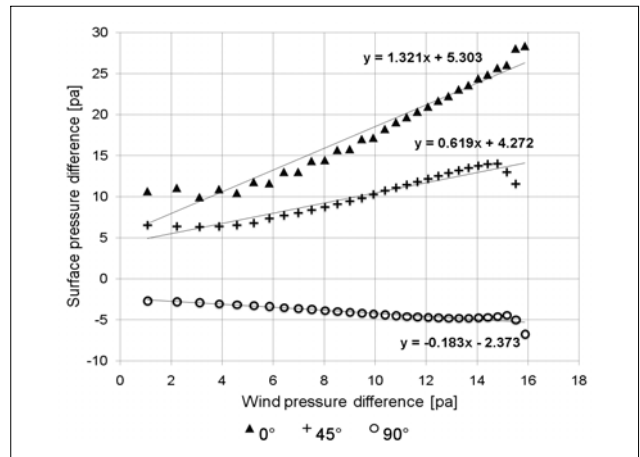
그림 3. 높이에 따른 풍속 및 풍압 분포

풍압과 일정 높이의 풍속(U_H)과의 관계는 Bernoulli의 식($P_v = 0.5\rho_a U_H^2$)으로부터 구할 수 있으며 일정 높이의 풍속은 관측점의 풍속과의 관계식 식(2)로부터 구할 수 있다. 해석대상건물은 도심에 위치하므로 건물이 위치한 지점에서의 바람의 경계면의 높이는 460m이고 풍속분포에 대한 지수는 0.33이며²⁾ 10m 높이의 풍속이 2.5m/s일 때 높이에 따른 풍속과 풍압분포는 그림3과 같다.

해석대상 주호의 높이에서의 표면압력차와 풍압의 관계는 풍압계수(C_p)에 의해 정의할 수 있으며 풍압계수를 이용하여 식(1)과 (2)에 의해 측정 풍속에 따른 풍압분포와 건물 각 표면의 압력차를 계산할 수 있다. 건물의 높이에 따른 층별 표면압력차를 해석하기 위하여 CFD (Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션을 사용하였다. STAR-DESIGN으로 대상건물을 모델링 하였으며 STAR-CD를 이용하여 해석하였다. 난류 모델은 k- ϵ /High Reynolds를 사용하여 남쪽을 기준으로 0°, 45°, 90°에서 바람이 부는 경우에 대해 남·북쪽 파사드의 압력차를 구하였다. 그림4는 높이에 따른 대상 건물의 남·북 각 파사드의 표면 압력차와 풍압과의 관계를 나타낸 것이다. 각 그래프의 기울기는 바람의 방향에 따른 각 면의 풍압계수(C_p)를 의미한다.



b) north facade



a) south facade

그림 4. 풍압차에 따른 건물의 표면압력차

4.2 유량계수와 통과유량

각 환기장치 단면별 압력차에 의한 통과유량을 해석하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 진행하였다. 각 단면은 2D로 모델링 하였으며 STAR-CD를 이용하여 해석하였다. 난류모델은 k- ϵ /High Reynolds를 사용하였다. 내측 환기 장치의 조작에 따른 각 단면별 압력차에 대한 통과유량은 그림5의 각 점으로 표시한 값과 같았으며 식(3)에 따라 유량계수(C_d)를 계산한 결과 내측장치의 1단계에서는 0.322, 2단계에서는 0.301, 3단계에서는 0.199, 외측장치에서는 0.2로 나타났다. 내측장치의 각 유량계수와 식(3)에 따라 계산한 예상통과유량을 그림5에 선형 그래프로 표시하였다. 그림5의 점 그래프와 선 그래프의 오차는 이후 TRNFLOW 시뮬레이션과 CFD 시뮬레이션의 통과유량에 대한 오차를 의미한다. 그림7에서 볼 수 있듯이 대상건물의 남·북면의 풍압차는 97% 이상이 ± 30 pa 범위 안에서 나타나며 그림11에서 볼 수 있듯이 각 표면의 압력차 또한 97.5% 이상이 ± 30 pa 범위 안에서 나타나므로 CFD 시뮬레이션과 유량계수(C_d)를 이용한 TRNFLOW 시뮬레이션의 통과유량에 대한 오차가 크지 않음을 예상할 수 있다.

2) ASHRAE HANDBOOK 2001 Fundamentals

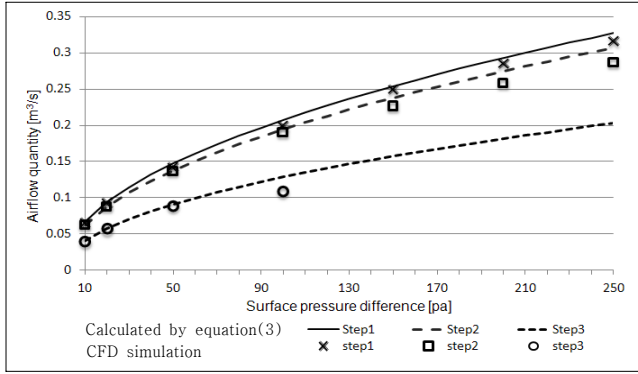


그림 5. 표면압력차에 따른 환기량

4.3 설치면적비와 환기량

자연환기시스템을 대상주호에 설치하였을 경우의 각 실의 표면압력차와 환기량을 해석하기 위하여 TRNFLOW 시뮬레이션을 사용하였다. 대상 건물의 풍압계수(C_p)와 자연환기장치의 조작 단면별 유량계수(C_d), 서울 평균기후데이터를 경계조건으로 사용하였다.

주호의 모든 실은 체적에 대한 외기에 면한 외피면적의 비가 다르기 때문에 자연환기장치를 외기에 면한 벽의 면적이나 길이에 비례하여 설치하면 각 실이 동일한 환기율을 가질 수 없으므로 절한 설치면적비를 선정할 필요가 있다. 표1은 10m 높이에서 1m/s의 바람이 남향을 기준으로 0°, 45°, 90°, 135°, 180°로 불 경우 모드1에서 주호의 환기율이 일정하고 각 실의 환기율일 동일한 설치면적비와 각 정압부위 실의 체적과 부압부위 실의 체적의 비를 고려한 설치면적비를 나타낸 것이다.

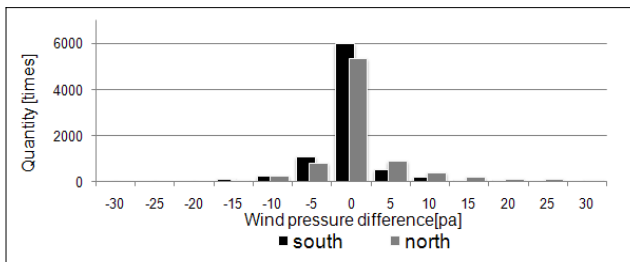


그림 6. 연간 풍압차의 도수분포표

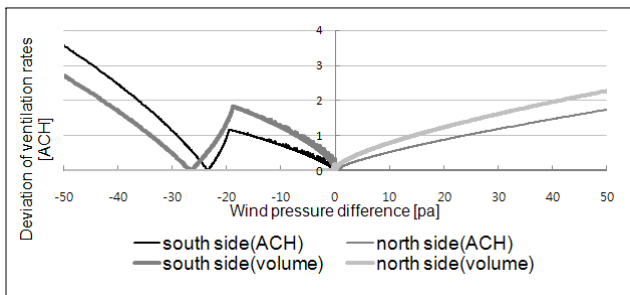


그림 7. 남·북측실 환기율 편차

주호의 환기율은 정압 부위에 면한 실과 부압 부위에 면한 실의 개구 면적 비에 의해 변화 하므로 체적비에 의한 설치면적은 남쪽면 실의 설치면적 합과 북쪽면 실

의 설치면적 합이 동일하게 설정하였다. 표1에 따라 장치를 설치할 경우 남·북면 풍압차에 대한 연중 각 실의 환기율 편차의 분포는 그림7과 같으며 연중 남쪽과 북쪽 파사드에 작용하는 풍압차의 도수분포(그림6)는 97% 이상이 ±30pa 범위 안에 나타났다. 환기율의 평균 편차는 표2와 같으며 환기율을 이용하여 조절한 경우가 더 낮았으나 항별 평균편차의 차는 0.0961과 0.0745로 낮게 나타나 체적비를 고려한 설치면적비 산정이 가능함을 알 수 있다.

표 1. 설치면적 비 해석대상

Façade	남측면				북측면	
	Room1	Room2	Room3	Living	Room4	Kitchen
By ACH	1.00	0.52	0.60	1.47	1.34	2.28
By Volume	1.00	0.59	0.65	1.47	1.28	2.11

표 2. 연간 환기율의 평균편차

Façade	남측면		북측면		편차
	ACH	Volume	ACH	Volume	
Adjustment					
평균편차(ACH)	0.3988	0.4949	0.1443	1.47	0.0961

4.4 실내 공기질을 위한 장치설치 면적

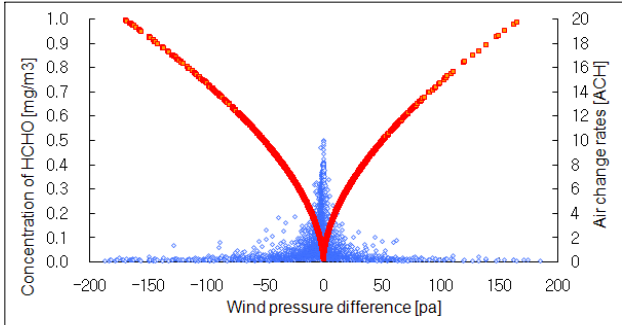
자연환기 시스템은 바람이 불지 않을 경우 풍압차(ΔP_v)가 발생하지 않아 환기율이 0.7회 이하로 나타나는 경우가 많아 현재의 법적 기준에 적합하지 않다. 그러나 바람의 세기의 변화에 따라 환기율이 변화하면서 0.7회 이상의 환기율을 보이는 경우가 많아 기계환기를 하는 경우에 상응하는 오염물질 제거성능을 보일 것으로 예상된다. 이에 본 연구에서는 해석 대상 건물에서 0.7회의 기계환기를 지속적으로 할 경우의 포름알데히드(HCHO) 제거능력을 기준으로 자연환기 시스템의 설치면적을 산정하였으며 포름알데히드(HCHO) 방출량은 한국공기 청정협회의 친환경 건축자재 인증등급의 우수자재의 방출량 기준에 따라 0.02mg/m²h로 하였다. 실내 포름알데히드(HCHO) 농도를 해석하기 위하여 TRNFLOW 시뮬레이션을 사용하였다.

표 3. 자연환기장치의 적정설치면적 (m²)

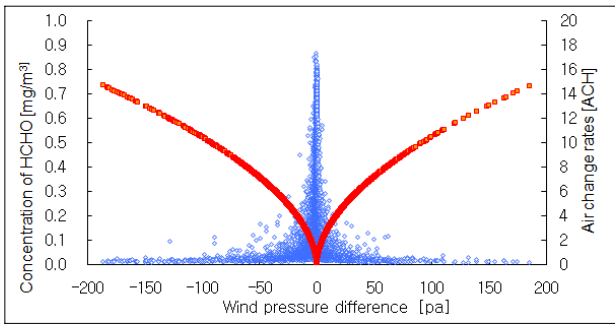
Room1	Room2	Room3	Living	Room4	Kitchen
0.075	0.039	0.045	0.110	0.101	0.171

해석결과 대상 주호에서 0.7회의 기계환기를 실시할 경우 실내 포름알데히드(HCHO)의 평균농도는 0.1755 mg/m³으로 나타났으며 시간에 따른 변화 없이 일정한 값을 보였다. 자연환기설비의 설치면적은 TRNFLOW시뮬레이션 상에서 설치면적을 조정하면서 포름알데히드(HCHO) 연평균 농도가 기계환기시 보다 낮은 농도를 나타내는 면

적으로 산정하였다. 설치면적은 표1의 환기율에 따른 설치면적비에 따라 설치하였으며 환기량이 적은 모드2에서 연평균 포름알데히드(HCHO) 농도를 측정하여 산정하였다.



a) Mode 1



b) Mode 2

◇ HCHO ■ ACH

그림 8. 각 모드별 연간 HCHO 농도 및 환기율 분포

표 4. 각 모드에서의 월별 평균 환기율과 HCHO의 평균농도 및 농도의 표준편차

a) Mode 1

월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
ACH	3.10	3.28	3.42	3.54	2.80	2.59
평균농도 (mg/m ³)	0.0960	0.0897	0.0821	0.0797	0.1076	0.1235
표준편차	0.0962	0.0814	0.0797	0.0783	0.0935	0.1021

월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
ACH	2.38	2.67	2.11	2.04	2.81	3.00
평균농도 (mg/m ³)	0.1262	0.1250	0.1332	0.1474	0.1179	0.1135
표준편차	0.1034	0.1021	0.0977	0.1046	0.1179	0.1135

b) Mode 2

Month	1월	2월	3월	4월	5월	6월
ACH	2.24	2.38	2.49	2.58	2.02	1.86
평균농도 (mg/m ³)	0.1459	0.1333	0.1256	0.1192	0.1686	0.1971
표준편차	0.1680	0.1301	0.1436	0.1298	0.1686	0.1841

Month	7월	8월	9월	10월	11월	12월
ACH	1.71	1.91	1.51	1.45	2.02	2.17
평균농도 (mg/m ³)	0.2007	0.1986	0.2076	0.2332	0.1861	0.1766
표준편차	0.1843	0.1808	0.1702	0.1807	0.1875	0.1660

표3은 모드2에서 연평균 포름알데히드(HCHO) 농도가 0.1744mg/m³인 경우의 자연환기설비 설치면적을 표시한 것이며 이때의 연평균 환기율은 2.03회로 나타났다. 그림 8은 표3과 같은 면적의 자연환기를 설치하였을 때 각각의 모드에서 풍압차에 따른 연중 환기율 분포와 포름알데히드(HCHO)의 농도를 표시한 것이다. 모드1에서의 연평균 포름알데히드(HCHO) 농도는 0.1118mg/m³, 연평균 환기율은 2.81회로 나타났으며 각 모드에서의 월별 평균 환기율과 포름알데히드(HCHO)의 평균농도 및 농도의 표준편차는 표4와 같다. 한국에서 난방부하가 주로 발생하는 10월에서 4월까지의 모드2로 5월에서 9월까지의 모드1로 운영할 경우 연평균 환기율은 약 2.32회, 연평균 포름알데히드(HCHO) 농도는 약 0.1446mg/m³로 나타날 것으로 예상된다.

4.5 실내 기류 속도

기류는 대류와 증발에 의해 인체의 열손실을 증가시키며 난방을 하는 실내에 기류가 전혀 없으면 답답함을 느끼게 된다. 일반적으로 난방기에는 실내풍속이 0.5m/s 이상이 되면 불쾌감을 느끼게 되며 냉방기에는 1.5m/s 이상이 되면 불쾌감을 느끼게 된다.

자연환기 설치시 실내 기류의 쾌적 여부를 평가하기 위하여 CFD 시뮬레이션을 이용해 거주역의 실내기류에 의해 불쾌감을 느끼게 되는 실내·외 표면압력차를 장치단면별로 구하고 TRNFLOW 시뮬레이션을 이용하여 분석한 모드별 각 실 표면의 연중 압력차 데이터와 비교하였다. 거주역의 범위는 바닥면에서 2.1m 높이로 정의하고 내측환기장치를 설치한 표면에서 0.2m부터 2m사이의 풍속을 측정하였다. 실내기류에 의한 불쾌감을 느끼게 되는 표면압력차를 구하기 위해 모드1에서는 Step1, 모드2에서는 Step3의 단면에서 압력차에 따른 실내풍속의 정규분포의 98%가 계절별 기준1.5m/s와 0.5m/s를 초과하는 범위를 구하였다. 분석결과 Step1에서는 실내·외 표면압력차 250pa에서 실내풍속 정규분포의 98%가 1.5m/s 조건을 초과하였으며 Step3에서는 실내·외 표면압력차 50pa에서 실내풍속 정규분포의 98%가 0.5m/s를 초과하였다.

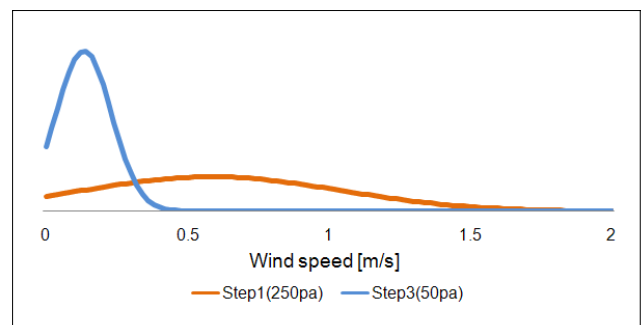
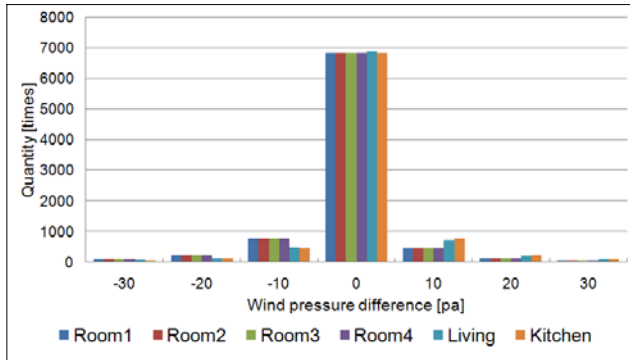
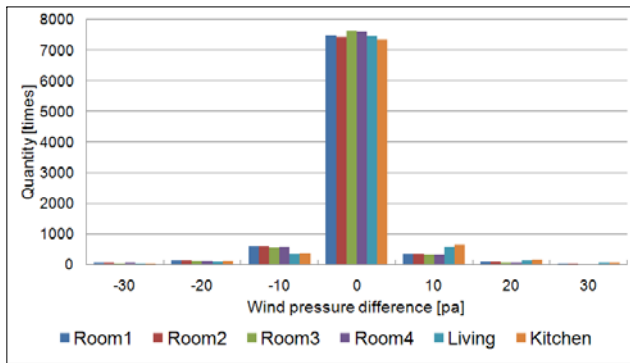


그림 9. 조작단계별 실내 풍속의 정규분포

그림10은 TRNFLOW시뮬레이션을 이용하여 분석한 모드별 각 실 표면의 연중 압력차의 도수분포표이며 모드1에서는 최대 149pa, 모드 2에서는 99.9%가 ±50pa 범위 안에서 나타나 자연환기설비 설치시 재실자가 실내기류에 의한 불쾌감을 느끼지 않음을 예상 할 수 있다.



a) Mode 1



b) Mode 2

그림 10. 모드별 연간 표면압력차의 도수분포

5. 결론

본 연구의 목적은 실내공기질을 유지하고 쾌적한 실내기류를 조성할 수 있는 자연환기 시스템의 대안을 제안하는 것이다.

실내공기질 유지를 위한 자연환기장치의 적정설치면적비와 적정설치면적을 산출하기위해 먼저 CFD 시뮬레이션을 이용하여 해석대상건물의 풍압계수와 프로토타입 장치단면의 유량계수를 계산하였으며 이를 TRNFLOW 시뮬레이션에 적용하여 적정설치면적비와 적정설치면적을 계산하였다.

해석 결과 자연환기설비 설치시 주호의 각 실이 유사한 환기성능을 가질 수 있게 하기 위해서는 실의 체적비를 고려하여 자연환기 설비를 설치할 수 있음을 알 수 있었다. 주호의 환기율은 정압 부위에 면한 실과 부압 부위에 면한 실의 개구부 면적 비에 의해 변화 한다. 따라서 풍향에 관계없이 실별 환기율을 유사하게 유지하기 위해서는 남쪽면 실의 설치면적 합과 북쪽면 실의 설치면적 합이 동일하게 하고 각 실의 설치면적을 각 면의 실의 체적비에 따라 정한다.

적정설치면적 산정을 위해 본 연구에서는 0.7회의 기계환기시의 포름알데히드 제거능력에 상응하는 자연환기 시스템의 설

치면적을 적정설치면적으로 정의하였다. 그 결과 0.7회 기계환기시 연평균 포름알데히드 농도는 0.1755mg/m³로 나타났으며 자연환기 시스템을 적정설치면적 설치하고 운영모드에 따라 운영할 경우의 포름알데히드 농도는 0.1446mg/m³로 나타났다.

본 연구에서 제안한 자연환기 시스템이 쾌적한 실내기류를 조성할 수 있는가를 평가하기위해 CFD 시뮬레이션을 이용하여 불쾌감을 조성하는 모드별 표면압력차를 산출하고 해석대상건물에서의 표면압력차와 비교한 결과 재실자가 실내기류에 의해 불쾌감을 느끼지 않음을 예상 할 수 있었다.

본 연구는 연구의 편의를 위해 풍압차에 의한 통풍환기만을 고려하였으므로 온도차에 의한 환기 및 연돌효과 등의 영향을 고려한 연구로 발전될 필요가 있으며 자연환기설비 설치시 냉난방 에너지 소비에 대한 연구와 복합적인 외피기능과 통합 운영하는 시스템으로 발전시킬 수 있는 추가적인 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인 한양대학교친환경건축 연구센터의 지원으로 수행되었음

(R11-2005-056-02001-0)

본 연구는 건설교통부 건설혁신기술연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었음 (06건설핵심B02)

참고문헌

1. Pelletret, R., Soubra, S., Keolholz, W. and Gaduel, E. Environment de simulation pour les calculs thermiqueset aerautizues (simulation for thermal and airflow design), Val-Bonne, Paris, France, CSTB. 1994
2. ASHRAE HANDBOOK 2001 Fundamental
3. 이경희. 건축환경계획, 문운당, 2005
4. 노상태, 김강수, Single-sided 개구부의 형태와 위치에 따른 자연환기 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 21권 8호(통권202호), 2005.
5. 김은수, 류영희, 김태연, 이승복, 공동주택 실내마감재 사용에 따른 실내공기질 예측, 대한건축학회 학술발표논문집,24권 20호, 2004.
6. Y-H.Chiu, D.W. Etheridge, External flow effects on the Discharge coefficients of two types of ventilation opening, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2006.
7. Steve Sharples, Nelson Chilengwe, Performance of ventilator components for natural ventilation applications, Building and Environment 41(2006) 1821-1830.