

패시브환기외피의 열성능 수치시뮬레이션

이태철*, 손유남**, 윤성환***

*부산대학교 건축학과(azovhakim@nate.com), **EAN테크놀로지(ogam313@nate.com),
***부산대학교 건축학과(yoon@pusan.ac.kr)

Numerical Simulation on Thermal Performance of Passive Ventilation Skin

Lee, Tae-Cheol*, Son, Yu-Nam**, Yoon, Seong-Hwan***

*Dept. of Architecture Eng., Pusan National University(azovhakim@naver.com),
**EANTechnology(ogam313@nate.com),
***School of Architecture, Pusan National University(yoon@pusan.ac.kr)

Abstract

This study aims to evaluate performance of ventilation and thermal about breathing wall by flowing air to indoor on appropriate conditions that is effective aperture area in the Central region(20, 50, 80cm²/m²). The result is as follows : 1) Sectional temperature distribution of inflow and outflow out under the constant ventilation was reviewed. In the case of inflow, outside temperature increase effect was confirmed. 2) The more differences of temperature between outdoor and indraft of air was high, the more heat recovery was high.

Keywords : 패시브환기시스템(Passive Ventilation System), 열공기 동시이동 모델(Heat · Air Transfer Prediction Model), 열성능(Thermal Performance)

기 호 설 명

αA	: 단위면적당 유효개구면적(cm ² /m ²)	d	: 관단면의 상당직경(m)
α	: 유량계수(-)	D	: 공기층의 두께(m)
A	: 단위면적당 개구면적(cm ² /m ²)	λ	: 공기열전도도(W/m ² °C)
q_c	: 대류열전달에 의한 열류 (W/m ²)	ϵ_n	: 알루미늄 시트 _n 의 방사율(-)
q_r	: 방사열전달에 의한 열류 (W/m ²)	T_{Sn}	: 알루미늄 시트 _n 의 표면온도(K)
q_a	: 공기이동을 수반하는 열류(W/m ²)	σ	: 스테판-볼츠만상수(W/m ³ K ⁴)
C_p	: 풍압계수(-)	K_d	: 동적 열관류율(W/m ² K)
α_c	: 대류열전달율(W/m ² °C)	Q_{hr}	: 열회수량(W/m ²)
α_r	: 방사열전달율(W/m ² °C)	T_o	: 외기온도(K)

1. 서 론

최근 산업구조의 고도화로 인하여 실내에서 근무하는 시간이 증가하고 있으며, 이는 건물부문의 에너지사용량을 증가시키고 보다 쾌적한 근무환경에 대한 수요가 늘어나고 있다. 건축물 외피의 단열성능과 기밀성능의 강화로 건물에너지 소비량은 절감되었으나, 적절한 환기부족으로 인한 신선한 외부 공기의 실내 유입이 어려워졌다. 2006년 개정된 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 중 제11조(환기기준)에 의하면 100세대 이상의 신축 또는 리모델링하는 공동주택 및 주상복합건물의 경우 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어질 수 있도록 자연환기설비 또는 기계환기설비를 설치해야 한다. 자연환기는 주변 환경 및 외부 기상상태 등 다양한 환경요소의 영향을 받아 일정한 환기량을 지속적으로 확보하기 어렵다. 기계환기는 송풍기나 환풍기를 사용하여 각 실의 필요한 공기를 안정적으로 공급할 수 있어 대부분의 건설사들은 기계환기설비를 공동주택에 설치하고 있다.

그러나 최근 연구 결과¹⁾에 따르면 기계환기가 설치된 세대의 경우, 운전비용에 대한 부담과 환기장치 인식 부족 등으로 설치의도와는 다르게 환기시스템이 적극적으로 사용되지 않고 있는 실정이다. 24시간 가동되어야 할 기계환기가 제대로 작동하지 않는다면 재실자의 건강은 여전히 오염된 실내공기에 노출되는 셈이다. 따라서 실내 공기질을 향상시키는 동시에 에너지절약적인 부분까지 고려한 새로운 환기시스템이 요구되고 있으며, 이를 개선시킬 수 있는 방안으로 건물외피에 미세기공과 공기층을 형성하여 자연환기를 기본으로 한 통기성과 단열성 및 향진성

의 기능이 기대되는 숨쉬는 벽체(Breathing Wall : 이하 BW)가 연구되고 있다.

2. 열·공기 동시이동 예측모델

숨쉬는 벽체 건축부재를 통한 열·공기 이동은 그림 1과 같이 시트 표면의 수직방향으로만 흐르는 1차원으로 가정한다. 열·공기 각 요소의 이동은 다음 ①마주보는 알루미늄 시트표면의 방사열 전달, ②알루미늄 시트표면과 공기층 사이의 대류열 전달, ③미세구멍을 통하여 기압차에 의한 공기이동과 공기이동에 수반하는 열이동으로 나타나며 계산 방법은 식으로 나타내었다. 1mm의 알루미늄 시트의 얇은 두께의 전도로 인한 열이동은 무시한다.

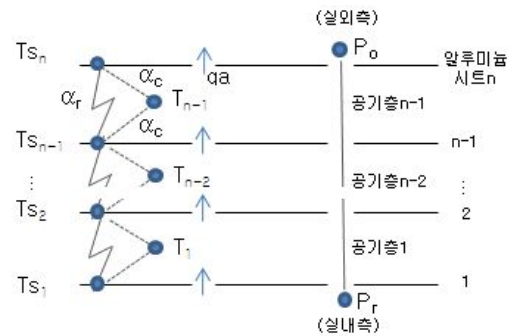


그림 2 열이동 모식도

2.1 열의 이동

1) 대류열전달에 따른 열류

$$q_c = \alpha_c (T_n - T_{s_n}) \quad (1)$$

대류열전달을 α_c [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]는 공기층 내 공기의 흐름을 층류로 가정하여 다음에 나타나는 강제대류 층류열전달의 식 및 Nusselt수로부터 구한다.

$$N = \alpha_c \cdot d / \lambda = 7.54 \quad (2)$$

1) 김진호 외 4명, 초고층 공동주택 거주자들의 전열교환형 환기장치 운전방식 현황 조사 및 문제점 분석, 대한건축학회논문집, v.25 n.2 pp.249-256, 2009.02

$$\therefore a_c = 3.77\lambda/D (\because d = 4D/2 = 2D) \quad (3)$$

2) 방사열전달에 따른 열류

$$q_r = \epsilon_{n,n+1}\sigma(Ts_n^4 - Ts_{n+1}^4) \quad (4)$$

마주보는 알루미늄 시트표면의 방사열전달을 α_r [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]은 다음과 같다.

$$\alpha_{r-n,n+1} = \frac{q_r}{(Ts_n - Ts_{n+1})} \quad (5)$$

$$= \epsilon_{n,n+1}\sigma(Ts_n + Ts_{n+1})(Ts_n^2 + Ts_{n+1}^2)$$

$$\text{단, } \frac{1}{\epsilon_{n,n+1}} = \frac{1}{\epsilon_n} + \frac{1}{\epsilon_{n+1}} - 1 \quad (6)$$

3) 공기 이동에 의한 열이동

공기 이동에 수반되는 열이동 [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]은 다음 식에 의해 구한다.

$$q_a = VC_p\rho(T_n - T_{n+1}) \quad (7)$$

선행연구²⁾에서 제안한 열·공기 동시이동 예측모델은 알루미늄 시트구멍의 유량계수는 원형오리피스로 가정하고 Re수 및 흐름단면 면적비를 고려한 문헌³⁾을 바탕으로 한다.

모델의 계산범위는 첫 번째 알루미늄 시트의 실내측 공기층에서부터 n번째 알루미늄 시트의 실외측 공기층까지이며, 경계조건은 실내측 및 실외측의 공기온도와 압력차, 투기방향으로 한다. 부재에서의 열·공기 동시이동은 위의 계산식을 이용하여 부재단면의 온도분포가 정상상태가 될 때까지 반복계산을 하게 된다.

3. 패시브환기 시스템 건축부재 설계

본 장에서는 숨쉬는 벽체를 공동주택에 적용하기 위하여 고려되어야 하는 적용부위와 면적을 검토하였다. 적용부위는 남북측의 창호 상하부에 설치하는 것으로 가정하고 면적은 가능한 넓은 면을 통해 환기가 일어나도록 하는 것이 실내기류에 영향을 미치지 않으나, 조망권을 고려하여 4m²로 제한하고 남북측 동일한 개구면적으로 맞통풍을 유도하도록 한다. 부재의 기본구조는 그림 2와 같이 미세한 구멍을 갖는 10장의 알루미늄 시트에 의한 다층공기층으로 부재의 투기·단열 성능을 얻을 수 있다. 중부지역의 외기조건에서 필요 환기량을 만족하는 aA가 20cm²/m², 50cm²/m², 80cm²/m² 등 3가지 타입의 숨쉬는 벽체 부재를 설계하였다⁴⁾. 부재의 투기·단열을 결정하는 변수인 알루미늄 시트의 방사율, 알루미늄 시트 수, 공기층 두께 등을 표 1과 같이 정하였다. 타입별 개구율차이는 알루미늄 시트의 공경은 1mm로 동일하게 고정하고 aA에 따라 공간격을 다르게 설정하였다.

계산시의 설정조건은 실내온도 25 $^\circ C$, 실외온도 0~25 $^\circ C$, 압력차는 5Pa이하로 변화시켰다.

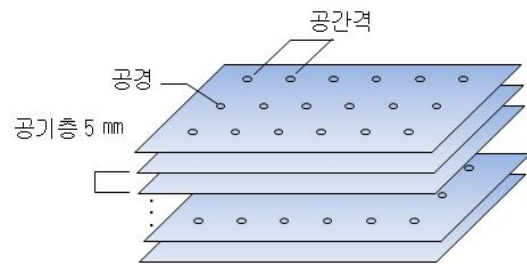


그림 3 숨쉬는 벽체의 구조

2) 尹聖院, “パッシブ換気機能を有する建築部材の自然換気・断熱・透湿性能に関する研究”, 東京工業大学 博士學位論文, pp. 26, 2000

3) E. Ower and R. C. Pankhurst, The measurement of air flow, Pergamon Press, 1977

4) 윤성환, 손유남, 한국형 숨쉬는 벽체의 자연환기 설계, 대한건축학회논문집계획계, Vol.26, No.11, pp.347-354, 2010

표 1. 부재의 사양

변수	상세사양
시트수	10장
공경	1mm
공기층 두께	5mm
시트 방사율	0.1

4. 열성능 예측

4.1 단열성능 예측

1) 동적열관류율

숨쉬는 벽체를 통한 자연환기는 실내외 압력차에 의해 외기가 유입되고 다시 동일한 투기량 만큼 실내공기가 외부로 유출된다. 실내온도보다 낮은 외기가 실내로 유입될 경우 실내측의 열손실이 발생하지만 고온의 실내공기가 외부로 유출시에는 실내측 표면은 단열상태가 우수하다. 투기성이 있는 구조체의 단열성능을 평가한 Dalehaug⁵⁾의 「Dynamic U-value」에서 환기량이 증가할수록 단열성능이 향상되는 것을 그림 56)에서 확인할 수 있다. 이는 실내공기가 외부로 유출시 환기량이 증가할수록 실내공기온도와 실내측 표면온도가 같아져 실내측의 표면 열류량은 0에 가까워진다.

동일한 개념을 적용하여 실내측의 표면의 대류·방사 열전달량을 실내외 온도차로 나눈 동적 열관류율로 부재의 단열성능을 검토하였다. 동적 열관류율의 식은 다음과 같다.

$$K_d = \frac{q_c + q_r}{\Delta T} \quad (8)$$

αA 의 변화에 따라 일정 압력차에서 투기량은 다르지만, 일정 투기량에서는 알루미늄 시트의 공경 및 방사율, 시트두께가 동일하여 표면 열류량에 차이가 없어 동적 열관류

율이 동일하다. 그림 3은 외기온도 0°C에서의 일정 압력차에서 αA 별 동적 열관류율을 나타낸다. 외벽의 단열기준으로 숨쉬는 벽체 부재를 검토시 중부지역의 경우 $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 은 압력차 0.1Pa이상에서 법적 단열기준치 열관류율 $0.47 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 를 충분히 확보한다⁷⁾.

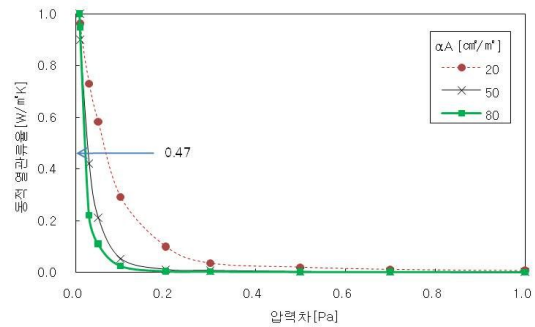


그림 4 동적 열관류율

2) 부재단면 온도분포

αA 별 일정 투기량에서 부재의 단면온도분포를 그림 4에서 그림 6에 나타내었다. 이때의 조건은 실외온도가 0°C, 실내온도는 25°C이다. 그림 4에서 $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 의 숨쉬는 벽체 부재를 통해 0.7ACH를 만족하는 투기량 $48 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 가 실내로 유입되는 경우 실내측 시트1의 표면온도가 20°C까지 상승한다. 유출시보다 유입시에서 부재단면의 실내측 시트와 실외측 시트의 온도구배가 크게 나타난다. 투기방향과 열류방향이 유출시에는 같으나 유입시에는 반대가 되어 투기방향이 열전달에 저항으로 작용한 것으로 판단된다.

투기량이 증가할수록 시트2와 시트1에서 열교환이 많아 그 구간에서 단열성능을 확보하는 것이 중요하다.

5) Dalehaug, A., Fukushima, A., and Honma, Y.: Dynamic insulation in a wall, 日本建築學會大會(關東)學術講演梗概集, pp.1445-1446, 1993.09

6) 투기성을 갖는 부재(외부 클래딩과 공기층, 미네랄 울 보드, 유리솜 매트 및 다공성 목재 섬유판 등)로 구성된 외벽을 대상으로 미네랄 울 보드의 두께별 단열성능을 검토하였다.

7) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제21조(건축물의 열손실방지), 2008.7.10

8) 3)과 동일한 문헌

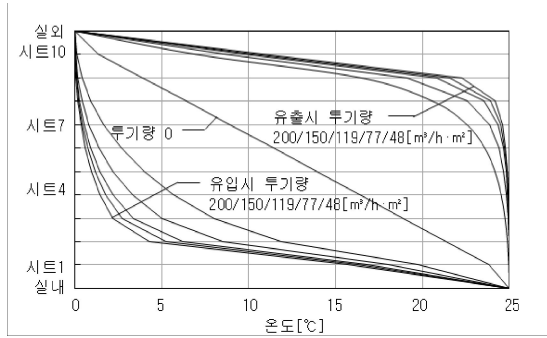


그림 4 aA20cm²/m²의 부재단면온도분포

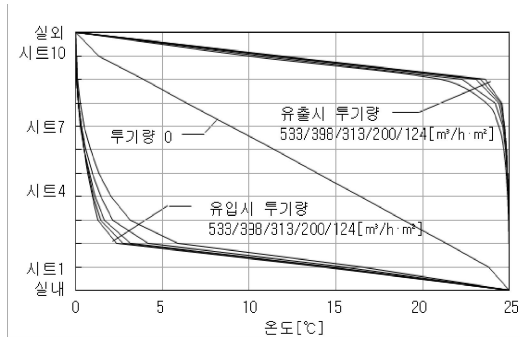


그림 5 aA50cm²/m²의 부재단면온도분포

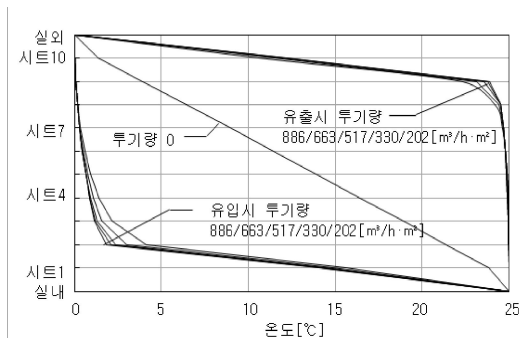


그림 6 aA80cm²/m²의 부재단면온도분포

3) 실내 유입온도 변화와 열회수량

숨쉬는 벽체를 통과하여 실내측에 유입되는 외기온도는 다층의 공기층을 통과하면서 열회수에 의하여 상승하게 된다. 외기온도와 실내측 유입외기온도의 변화는 공기이동에 수반한 열이동량으로 나타내어 다음 식으로 계산하였다.

$$Q_{hr} = VC_p\rho(T_{\infty} - T_o) \quad (9)$$

그림 7은 외기온을 0℃에서 25℃로 변화하면서 투기량에 따른 유입외기온도변화와 열회수량을 나타낸다. 투기량의 증가는 유입온도의 저하를 유발하지만, 외기온도와 실내유입온도의 차가 클수록 열회수량은 많아진다. 0.7ACH를 만족하는 투기량 48m³/h·m²에서 5℃의 외기온도가 숨쉬는 벽체를 통과할 때 12℃의 온도상승효과를 보여 17℃의 공기가 유입되며 이 때의 열회수량은 190W/m²이다.

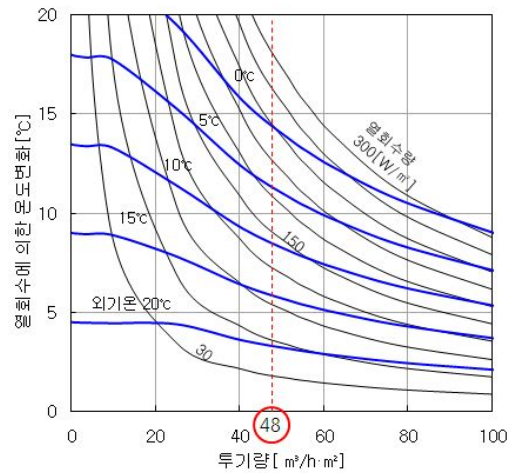


그림 7 일정투기량시 유입외기온도변화와 열회수량

5. 결 론

본 연구에서는 열·공기 동시이동 예측모델을 이용하여, 환기조건별 유효개구면적을 적용하여 설계한 숨쉬는 벽체를 통과하는 공기에 수반된 열이동을 예측하여 평가하였으며 그 결론은 다음과 같다.

- (1) 외기 유입과 유출시에 부재 단면의 온도 분포를 검토한 결과 유입시 외기의 온도 상승효과를 확인하였으며, 동일한 외기 조건에서 유효개구면적이 클수록 투기량이 많아져서 유입외기온도의 상승폭은 낮게 나타났다.

(2) 벽체를 통과하여 다층의 알루미늄 공기층을 통과하며 유입된 공기의 열회수량 변화를 검토한 결과 외기온도와 유입온도의 차이가 클수록 열회수량은 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원으로 수행되었음.(과제번호 : KRF-2008-331-D00649)

참 고 문 헌

1. 尹聖皖, “패시브換氣機能を有する建築

部材の自然換氣・斷熱・透濕性能に關する研究”, 東京工業大學 博士學位論文, pp. 26, 2000

2. E. Ower and R. C. Pankhurst, The measurement of air flow, Pergamon Press, 1977

3. 윤성환, 손유남, 한국형 숨쉬는 벽체의 자연환기 설계, 대한건축학회논문집계획계, Vol.26, No.11, pp.347-354, 2010

4. Dalehaug, A., Fukushima, A., and Honma, Y.: Dynamic insulation in a wall, 日本建築學會大會(關東)學術講演梗概集, pp.1445-1446, 1993.09

5. 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 제 21조(건축물의 열손실방지), 2008.7.10