

패시브환기외피의 통기성능 및 열관류율에 대한 연구

이 태 철, 손 유 남*, 윤 성 환**†

부산대학교 대학원 건축학과, *EAN테크놀로지, **부산대학교 건축학과

A Study on Ventilation and Heat Transfer Coefficient of Passive Ventilation Skin

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

Department of Architecture, Graduate School, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

*EAN Technology CO., LTD, Seoul 135-845, Korea

**Department of Architecture, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received July 10, 2012; revision received August 8, 2012)

ABSTRACT: This paper aims to evaluate performances of ventilation and insulation of 6types PVS(Passive ventilation skin) by numerical simulation. The results are as follows. 1) The result of Performance of ventilation by pressure difference, it was shown that the amount of ventilation changed bigger under 1Pa and amount of ventilation increased according to increase opening area (αA). Although same opening area of PVS, it can predict that pressure differences cause ventilation differences. 2) In case of same opening area of PVS, however, it was changed the amount of ventilation each types of PVS that is distinguished opening area by flow coefficient. 3) Dynamic U-value that represents performance of insulation PVS was similar change upper $\alpha A 40 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, great change in casse of 0.1 Pa pressure difference. In case of $\alpha A 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$, it was changed bigger under 0.3 Pa pressure difference, $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ of PVS was changed under 0.2 Pa pressure difference.

Key words: 패시브 환기(Passive Ventilation), 외피(Skin), 숨쉬는 벽체(Breathing Wall), 통기성능 (Ventilation Performance), 동적열관류율(Dynamic U-Value)

기 호 설 명

αA	: 유효개구면적 [cm^2/m^2]
$\alpha A'$: 압력에 따라 변화하는 αA [cm^2/m^2]
Q	: 환기량 [$\text{m}^3/\text{m}^2\text{h}$]
K_d	: 상당열관류율 [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
ΔT	: 온도차 [$^{\circ}\text{C}$]

1. 서 론

지구온난화 등 기후변화로 인한 국제협약과 70년 대 오일쇼크 이후 지속적으로 상승하는 원유값의 영향으로 에너지절약은 모든 국가에 있어서 공통된 관심사가 되고 있다. 우리나라도 2030년까지 에너지단위를 2006년 대비 47% 감소시켜 현재 OECD 회원국의 평균치인 0.19 수준으로 감소시키는 목표를 가지고 있다. 특히 건물부문의 에너지 소비량은 국가 전체의 약 25%를 차지하고 있으며 그 중에서 주거건물의 에너지소비량은 50% 이상이다. 건물부문의 에너지절감을 위하여 최근 건설되고 있는 건

† Corresponding author

Tel.: +82-51-510-2355; fax: +82-51-512-8478

E-mail address: yoon@pusan.ac.kr

물들은 고기밀, 고단열로 시공되고 있다. 그 결과 실내공기가 건물 내에 머무르는 시간이 증가하고 신선한 외기와 공기교환이 제대로 이루어지지 않아 실내공기 오염이 가속화되고 있다. 또한 현대인들의 실내 거주시간이 증가하면서 쾌적한 실내 환경에 대한 요구가 늘어가고 있다.

2006년 개정된 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 중 제11조(환기기준)에서는 100세대 이상의 신축 또는 리모델링하는 공동주택 및 주상복합 건물에 대해서는 시간당 0.7회 이상의 환기가 이루어 질 수 있는 자연환기 설비, 혹은 기계환기 설비의 설치를 의무화하였다. 그러나 자연환기는 외부의 환경 조건에 의해 큰 영향을 받아 환기량이 안정적이지 못하며 그 영향이 일시적이며 환기가 이루어지는 일부장소에서만 국부적으로 환기가 진행되는 등 실천체적으로 효율적인 환기가 이뤄지기 어려운 점이 단점으로 지적되고 있다. 자연환기에 대한 명확한 설계기준이나 측정법이 확립되어있지 않기 때문에 대부분의 건설사들은 건물을 시공 계획함에 있어서 기계환기 설비를 채택하고 있는 실정이다. 하지만 이는 건물의 에너지사용을 증가시키는 원인이 되고, 이것마저도 사용자들의 인식부족으로 인하여 제대로 작동하지 않는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾ 또한, ASHRAE의 선행연구에서는 기계 환기에 의한 쾌적감보다 자연환기를 도입한 건물의 재실자가 느끼는 쾌적감이 더 넓은 온도범위에 있다고 한다.⁽²⁾

이러한 배경 하에 최근 국내외에서는 다양한 방식과 기능을 지닌 환기시스템이 제안, 개발되고 있으며 특히 자연환기를 중심으로 한 패시브환기기술이 주목받고 있다. 자연환기의 일시적이고 국부적인 환기와 에너지를 사용하는 기계환기의 단점을 보완하기 위해 개발된 건축부재의 면전체에서 자연 환기가 이뤄지는 숨쉬는 벽체(Breathing Wall, 이하 BW) 기술이 그 중 하나이다. BW 기술의 선두주자라 할 수 있는 일본에서는 1990년대에 주거건물 등에 적용 가능한 알루미늄 시트와 탄화벚집을 이용한 패시브환기시스템을 개발하였다. Hoyano. A 등은 알루미늄 시트에 의한 BW 시스템의 설계 및 물성치의 실험(1995)^(3, 4)을 시작으로 하여, 부재를 통과하는 공기, 열, 습기의 이동 계산식 작성 및 실험을 통한 검증(1997),⁽⁵⁾ BW를 주택의 지붕에 적용하였을 때의 환기량과 열회수성능, 결로발생에 미치는 영향에 대한 실험적 검증(1998)⁽⁶⁾과 BW를 단독

주택의 천정 및 벽체 전면에 적용하여 자연환기성능 및 열성능을 평가하였고(2000),⁽⁷⁾ BW가 설치된 주거건물에서 외부 풍압이 실내의 열환경에 미치는 영향에 대한 연구(2000)⁽⁸⁾가 진행되었다.

본 연구는 일본에서 개발된 다공 알루미늄 시트에 의한 다층 공기층 구조로 구성된 BW 개념을 바탕으로 국내 공동주택에 적용 가능한 패시브환기외피(Passive Ventilation Skin, 이하 PVS)를 개발하는 것을 최종목표로 한다. 선행연구⁽⁹⁾에서 제안된 6종류(사양)의 PVS를 대상으로 통기(通氣)성능과 단열성능을 검토하기 위해 수치시물레이션을 실시하였다. 본 연구에서는 선행연구에서 개발된 열·공기 동시이동 예측모델을 활용하여 한국의 기상조건을 고려하여 환기설계된 유효개구면적이 상이한 6타입의 PVS 코어부의 통기성능과 단열성능을 예측 평가한다.

2. BW의 개요

Fig. 1은 BW의 기본개념을 나타낸 것이다. 일본에서 개발된 BW는 다공알루미늄 시트와 다층 공기층으로 이루어진 코어부를 중심으로 외장재와 내장재로 구성되어 있다. 주거공간을 구성하는 벽·지붕·천정의 넓은 면적을 통하여 열과 공기, 습기를 자연적으로 컨트롤 할 수 있는 부재로 목표기능은 다음과 같다.⁽⁸⁾ ① 공조설비를 이용하지 않고, 자연 상태에서 실내에 필요한 최소환기량을 얻을 수 있다. ② 가능한 넓은 면에서 환기가 이루어진다. ③ 대상지역에서 요구되는 단열성능을 지닌다. ④ 내부결로에 의한 해를 발생시키지 않는다. ⑤ 쾌적한 실내기후 형성에 도움을 준다. 본 연구에서는 선행연구⁽⁹⁾에서 제안된 다공알루미늄판 10장으로 구성된 코어부를 대상으로 열·공기 동시이동 예측모델에 따라서 부재의 통기성능과 단열성능을 평가한다.

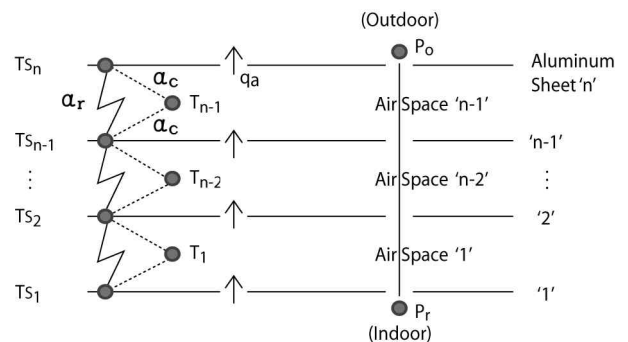


Fig. 1 Diagram of heat transfer.

3. 열·공기동시이동 예측모델

PVS의 통기성능과 단열성능을 예측 평가하기 위해서 기존 연구⁽⁵⁾에서 개발된 열·공기 동시이동 예측 모델을 활용하였다. 이 수치예측 모델에서는 PVS 코어부를 통한 열·공기이동은 Fig. 2와 같이 시트 표면의 수직방향으로만 흐르는 1차원으로 가정한다. PVS는 통기성능을 지니므로 PVS에서의 열이동은 ① 마주보는 알루미늄 시트표면의 방사열전달(α_r), ② 알루미늄 시트표면과 공기층 사이의 대류열전달(α_c), ③ 공기이동에 따른 열이동의 성분으로 나누어 계산된다.

모델의 계산범위는 첫 번째 알루미늄 시트의 실내측 공기층에서부터 n번째 알루미늄 시트의 실외측 공기층까지이며, 경계조건은 실내측 및 실외측의 공기온도와 압력차, 통기방향으로 한다. 부재에서 열·공기 동시이동은 부재단면의 온도분포가 정상상태가 될 때까지 반복계산을 한다.

4. 대상 PVS 사양

기존연구(2011)⁽¹⁰⁾에서는 PVS를 한국 탑상형 공동주택 표준 모델에 적용하는 방안을 검토하였다. 적용부위로 남북측의 창호 상하부에 설치하는 것을 제안하였다. 적용면적은 가능한 넓은 면을 통해 환기가 일어나도록 하는 것이 바람직하나 한국 공동주택의 일반적 구조적 특징과 조망권 등을 고려하여 4 m²로 정하였다. 남북측에 동일한 개구면적으로 맞통풍을 유도할 수 있도록 하였다.

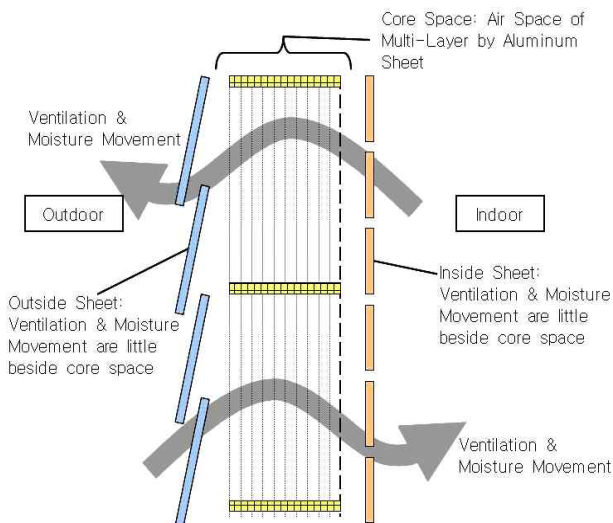


Fig. 2 Breathing wall.

Table 1 Specification of aluminum sheet

Variable	Spec
Number of Sheet	10 Sheet
Opening size	1mm
Thickness of Air Space	5mm
Emissivity	0.1

부재의 기본구조는 Fig. 3과 같다. 미세한 구멍을 갖는 10장의 알루미늄판에 의한 다층공기층으로 되어 있다. 중부·남부·제주도 지역의 외기조건에서 필요 환기량을 만족하는 αA 가 10 cm²/m², 20 cm²/m², 40 cm²/m², 50 cm²/m², 60 cm²/m², 80 cm²/m² 등 6가지 타입이 제안되었다. 부재의 통기·단열을 결정하는 변수인 알루미늄 시트의 방사율, 알루미늄 시트 수, 공기층 두께 등을 Table 1과 같다. 타입별 개구율차이는 알루미늄 시트의 공경은 1 mm로 동일하게 고정하고 αA 에 따라 구멍의 간격을 다르게 설정하였다. 계산시의 실내외조건으로는 실내온도 25℃, 실외온도 0~20℃, 압력차는 5 Pa 이하로 설정하였다.

5. 통기성능 검토

본 장에서는 부재의 통기성능을 검토하기 위해서 6종류의 유효개구면적(αA)을 지니는 부재별로 실내외 압력차 변화 시 αA 에 의한 통기량과 구멍크기 차이에 의한 통기량을 예측하고, 그 통기량을 바탕으로 압력차에 따라서 변화하는 부재의 αA '를 살펴 보았다.

5.1 αA 에 의한 통기성능 변화

열·공기 동시이동 예측 모델을 이용한 수치계산의 해 압력차 변화에 따른 유효개구면적별 통기량

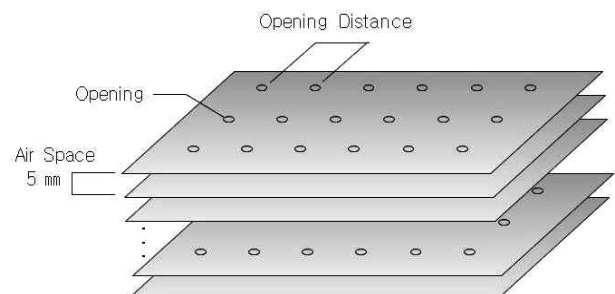


Fig. 3 Form of core space of breathing wall.

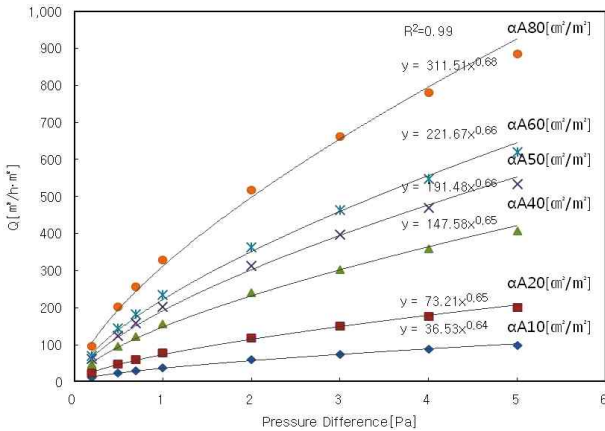


Fig. 4 Amount of ventilation by αA.

계산결과를 Fig. 4에 나타낸다. 통기특성은 1 Pa 이하에서 비교적 크게 변화하였으며 각 지역별 설계된 PVS의 유효개구면적이 커질수록 통기량도 커지는 것을 확인할 수 있다. 실내외 압력차가 1 Pa 일 경우 αA10 cm²/m²~αA80 cm²/m²에서 통기량은 38.5 m³/h·m²~329.6 m³/h·m²의 변화량을 보인다.

5.2 실내외 압력차에 의한 유효개구면적

Fig. 5는 실내외 압력차 변화에 따른 유효개구면적 변화를 나타내고 있다. 압력차가 클수록 αA' 값이 증대하는 경향을 보이는데 이는 압력증가에 따른 유량계수(α) 값의 증가 때문이다. 유효개구면적이 클수록 αA'의 변화폭도 크게 나타났으며, 1 Pa 이상에서는 완만하게 변화하는 패턴을 보인다. 풍압이 없고 실내외온도차 20℃때의 실내외 압력차는 0.7 Pa 정도로 산정되는데, 0.7 Pa에서의 αA' 값은 기존연구³⁾에서 설정한 α(유량계수)값 0.65와 거의 유사한 것으로 나타났다.

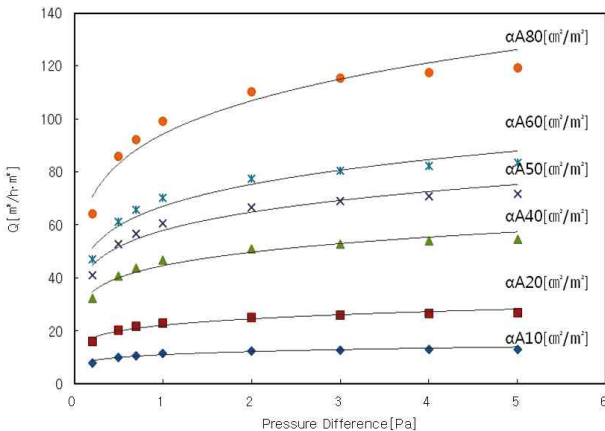


Fig. 5 Changes of αA by pressure difference.

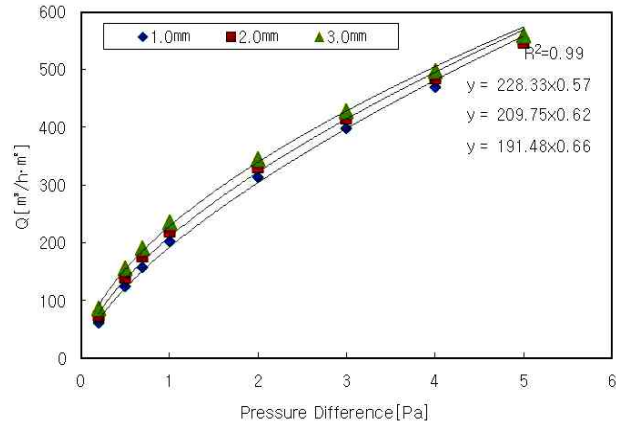


Fig. 6 Amount of ventilation by opening size.

5.3 공경차에 의한 통기성능 검토

Fig. 6은 αA를 50 cm²/m² 고정하고 서로 다른 구멍크기(지름)가 1.0~3.0 mm인 경우, 실내외 압력 변화에 따른 통기량 변화를 나타낸 것이다. 구멍크기가 커질수록 통기량도 커져 압력차 2 Pa에서 공경 1.0 mm, 2.0 mm, 3.0 mm 순으로 312 m³/h·m², 329 m³/h·m², 344 m³/h·m²의 통기량이 되었다. 동일한 αA의 경우에도 구멍크기에 따라 유량계수가 달라져 통기량 변화가 일어나지만 그 범위는 수% 이내로 생각할 수 있다.

6. 단열성능 검토

본 장에서는 통기성이 있는 벽체에서 열성능을 평가하기 위하여 동적단열의 열관류율 개념을 도입하여 부재의 단열성능을 평가한다.

6.1 동적열관류율

PVS를 통한 자연환기는 실내외 압력차에 의해 외기가 유입되고 다시 동일한 통기량 만큼 실내공기가 외부로 유출된다. 실내온도보다 낮은 온도의 외기가 실내로 유입될 경우 가장 실내측 표면온도가 일반 벽체표면 보다 낮아져 열손실이 발생하지만, 난방조건의 실내공기가 외부로 유출되는 풍하측 실내표면온도는 거의 실내온도에 가까워져 거의 열손실이 없는 상태가 된다. 이러한 공기유출이 있는 구조체의 단열성능을 평가하는 방법으로는 Dalehaug의 「Dynamic U-value」⁽¹¹⁾ 개념이 있는데 Dynamic U-value(이하, D-U값)의 경우 부재를 통과하는 통기량이 증가할수록 그 값이 작아지는 변화를 보인다

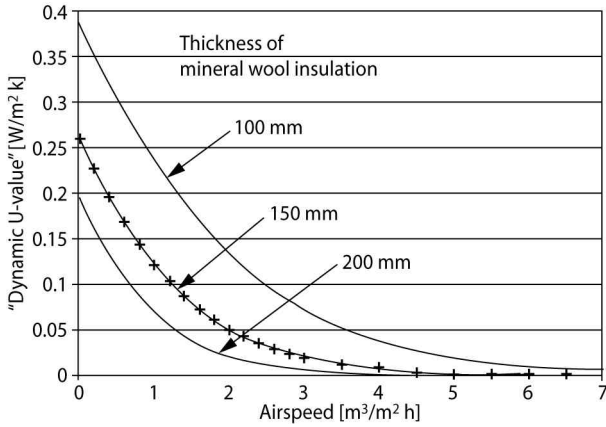


Fig. 7 Dynamic U-Value.

(Fig. 7 참조). 이는 앞서 언급한 난방조건의 실내공기가 외부로 유출하는 양이 많아질수록 실내표면을 기준으로 한 열류량은 거의 $0 \text{ W/m}^2\text{K}$ 에 가까워지기 때문이다.

6.2 PVS의 D-U값

동적단열의 열관류율 개념을 적용하여 실내측의 표면의 대류·복사 열전달량을 실내외 온도차로 나눈 D-U값을 활용하여 부재의 단열성능을 평가하였다.

Fig. 8은 실내외 압력차에 따른 D-U값 변화를 αA 별로 나타낸 것이다. $\alpha A 40 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 이상은 거의 유사한 변화를 나타내고 0.1 Pa 전후에서 큰 변화를 보이는 것으로 확인되었다. 또한 이 경우 0.2 Pa 이상에서는 값이 거의 $0 \text{ W/m}^2\text{K}$ 에 가까워진다. 한편 αA 값이 10, 20 cm^2/m^2 인 경우 유효개구면적 별로 상당히 다른 열관류율 변화 특성을 보인다. $\alpha A 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 의 경우 D-U값의 변화는 0.3 Pa 이하에서 큰 변화를 보이고, $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 의 경우 0.2 Pa 이하에서 큰 변화를 보

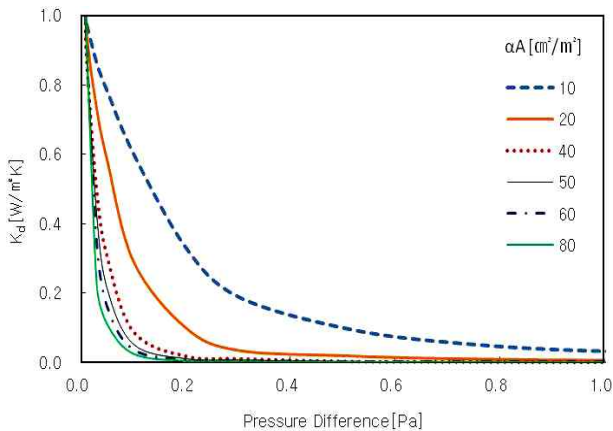


Fig. 8 Dynamic U-Value by pressure difference.

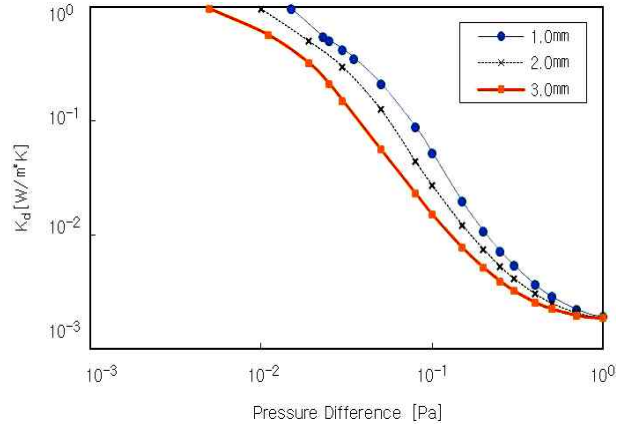


Fig. 9 Dynamic U-Value by opening size ($\alpha A 50 \text{ cm}^2/\text{m}^2$).

이게 된다.

Fig. 9는 αA 가 $50 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 인 경우 구멍크기 차이에 따른 열관류율의 변화를 지수함수로 나타낸 그래프이다. 동일한 유효개구면적에서 구멍크기가 클수록 작은 D-U 값을 나타내는데 이는 구멍크기가 큰 경우 동일 압력에서도 유량계수 증대로 인해 통기량이 약간 증가하기 때문으로 추측할 수 있다.

7. 결 론

본 연구는 국내 공동주택 적용을 전제로 제안된 6종류(사양)의 패시브환기외피(Passive Ventilation Skin)를 대상으로 통기성능과 단열성능을 검토하기 위해 수치시뮬레이션을 실시하여 부재의 환기량과 열관류율을 예측 평가하였다. 그 주요결과는 다음과 같다.

- 1) 압력차에 따른 통기성능을 검토한 결과 통기량은 1 Pa 이하에서 비교적 크게 변화하였으며, 유효개구면적이 커질수록 통기량이 증가하였다. 실내외 압력차가 1 Pa일 경우 $\alpha A 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2 \sim \alpha A 80 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 에서 통기량은 $38.5 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2 \sim 329.6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ 의 변화량을 보인다. 같은 αA 라도 개구공경의 차이에 의하여 통기량이 차이가 나는데 이는 압력차에 의한 유량계수의 변화로 인한 결과로 예측이 된다. 동일한 αA 의 경우에도 구멍크기에 따라 유량계수가 달라져 통기량 변화가 일어나지만 그 범위는 수% 이내로 생각할 수 있다.
- 2) 동적단열의 열관류율 개념을 적용하여 실내측의 표면의 대류·복사 열전달량을 실내외 온도차

로 나눈 D-U값을 활용하여 부재의 단열성능을 평가하였다. D-U값은 $\alpha A 40 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 이상의 경우 거의 유사한 변화를 나타내고 0.1 Pa 전후에서 큰 변화를 보였다. 또한 이 경우 0.2 Pa 이상에서는 값이 거의 $0 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 에 가까워졌다. αA 값이 10, $20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 인 경우 유효개구면적 별로 상당히 다른 열관류율 변화 특성을 보이는데, D-U값의 변화는 $\alpha A 10 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 의 경우 0.3 Pa 이하에서 큰 변화를 보이고, $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 의 경우 0.2 Pa 이하에서 큰 변화를 보였다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012R1A1A4A01015404).

참고문헌

- Kim, J.-H., Cho, H., Lee, J.-I., Kim, Y.-S., and Jeong, J.-W., 2009, A study on current problems of heat recovery ventilator operated by occupants in high-rise apartment houses, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol. 25, No. 2, pp. 249-256.
- ASHRAE Handbook of Fundamentals, ASHRAE, 2001.
- Hoyano, A., Sugawara, M., Sato, E., and Yasukata, S., 1995, Reappraisal of an aluminum foil-constructed multi-air layered body as an architectural member and its thermal characteristics : development of a breathing wall part 1, *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering Transactions of AIJ*, Vol. 475, pp. 9-15.
- Hoyano, A., Sugawara, M., and Sato, E., 1995, Proposal of a breathing wall as an architectural member for a passive solar system in a temperate and humid climate region, *Proceedings of Pan Pacific Symposium on Building and Urban Environment Conditioning in Asia(Nagoya, Japan)*, Vol. 1, pp. 43-52.
- Sugawara, M., Hoyano, A., Sato, E., and Sakuma, H., 1997, proposal of an architectural member with multi-air layered body constructed of aluminum sheets having fine holes and study on a calculation method of air, heat, and moisture transfers : development of a breathing wall part 2, *Journal of Architecture, Planning and Environmental Engineering Transactions of AIJ*, Vol. 499, pp. 43-48.
- Seong, H. Y. and Hoyano, A., 1998, Passive ventilation system that incorporates a pitched roof constructed of breathing walls, *Solar Energy*, Vol. 64, pp. 189-195.
- Yoon, S.-H., Hoyano, A., and Gonaikawa, K., 2000, study on application of a breathing wall to houses-evaluation of ventilation properties throughout a year and thermal properties in wintertime by case study of applications to ceiling/wall, *Journal of Japan Solar Energy Society*, Vol. 26, No. 6, pp. 35-42.
- Yoon, S.-H., Hoyano, A., and Gonaikawa, K., 2000, Wind Pressure Effects on Transfer of Heat and Moisture Across a Breathing Wall : Study on properties of natural ventilation, thermal insulation and vapor transmission in a breathing wall Part 1, *Journal of Architecture Planning and Environmental Engineering Transactions of AIJ*, Vol. 531, pp. 67-74.
- Yoon, S.-H. and Son, Y.-N., 2010, A study on natural ventilation design for korean breathing wall, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning and Design*, Vol. 26, No. 11, pp. 347-354.
- Lee, T.-C., Son, Y.-N., and Yoon, S.-H., 2011, Predictive evaluation of natural ventilation and thermal performance of passive ventilation building envelopes applied to apartment houses, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 13, No. 4, pp. 191-198.
- Dalehaug, A., Fukushima, A., and Honma, Y., 1993, Dynamic insulation in a wall, *Proceeding of Conference of Architectural Institute of Japan (East Provinces of Japan)*, pp. 1445-1446.
- Ower, E. and Pankhurst, R. C., 1996, *The measurement of air flow*, Pergamon Press Ltd.