

패시브환기외피의 단면온도분포 및 열회수량에 관한 수치해석적 연구

이 태 철, 손 유 남*, 윤 성 환**†

부산대학교 대학원 건축학과, *EAN 테크놀로지, **부산대학교 건축학과

A Numerical Study on Sectional Temperature Distribution and Heat Recovery Amount 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 24, 2012)

ABSTRACT: This study aims to analyse changes of inner temperature of PVS(Passive ventilation skin) and heat recovery when it has ventilation of air through PVS using numerical simulation in the winter condition. Results are as follows. 1) In case of the air inflows through PVS, change of inner temperature of PVS is lower than in case of the air flows inner space to out space, by dynamic insulation. 2) It was identified that the temperature gradient of PVS were bigger by increases of ventilation amount. To reduce ventilation load, heat transfer efficiency at the inner side of PVS is important and what performance of insulation at the inner side of PVS secure helps to improve heat performance of all PVS.

Key words: Passive ventilation(패시브 환기), Skin(외피), Breathing wall(숨쉬는 벽체), Heat Recovery(열회수), Natural Ventilation(자연환기)

기 호 설 명

aA	: 유효개구면적 [cm^2/m^2]
Q_{hr}	: 열회수량 [W/m^2]
V	: 통기(通氣)량 [m^3/hm^2]
C_p	: 공기의 정압비열 [$\text{J}/\text{h}^\circ\text{C}$]
$T_{in(f)}$: 숨쉬는 벽체를 통한 유입공기 온도 [$^\circ\text{C}$]
T_o	: 실외온도 [$^\circ\text{C}$]
T_s	: 시트표면의 온도 [$^\circ\text{C}$]

그리스 문자

ρ : 공기의 밀도 [Kg/m^3]

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

석유파동과 기후변화로 인한 국제협약의 체결 등으로 인하여 에너지절약에 대한 관심이 고조되고 있다. 국내에서도 2030년까지 에너지효율을 46% 개선시키려는 노력을 하고 있으며, 건축분야에서는 에너지를 절약하기 위해서 건물을 고기밀, 고단열로 시

† Corresponding author

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

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

공 하고 있다. 하지만 과도한 단열재, 방습재료의 사용 등으로 완성된 건물에서는 각종 오염물질이 발생하였는데, 이 오염물질들은 실내의 고온 다습한 환경에서 건축 재료로 흡착과 탈착을 반복하는 싱크효과를 유발하여 인체에 해로운 영향을 끼치고 있다.

이에 각종 해결책들이 강구되고 있으며, 적절한 환기 시스템 개발은 그 중의 하나이다. 환기는 실내에 존재하는 오염물질을 희석시키고 제거할 수 있을 뿐 아니라 경우에 따라서는 실내에서 발생하는 습기의 제거를 통하여 건물의 부식방지 및 쾌적한 실내환경을 만들 수 있는 중요한 실내환경 조절 수법이다. 최근에 지어지고 있는 건물이 고층화되며 자연환기설비의 적용이 힘든 특성상 대부분의 건물들에는 기계환기 시스템이 채택되고 있다. 그러나 이러한 기계환기 시스템의 경우 한 사용자들의 인식 부족으로 제대로 작동하지 않는 경우가 많은 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁾ 또한 ASHRAE의 선행연구에 의해 기계환기 보다 자연환기가 거주자 쾌적감 확보에 더 유리한 것으로 보고되고 있다.⁽²⁾ 최근에 이러한 에너지사용량저감에 대한 시대적인 요구와 기계환기에 비하여 쾌적한 실내환경 조성에 더 적합한 패시브환기시스템이 주목 받고 있으며 숨쉬는 벽체(Breathing Wall, 이하 BW)기술은 그 중 하나이다.

BW는 일본에서 최초로 그 개념이 제안된 것으로 건축부재의 면전체에서 자연환기가 이뤄지면서 열회수를 통하여 에너지절감을 도모하며 실내 쾌적성을 확보하는 패시브환기부재이다.

본 연구는 일본에서 개발된 다공 알루미늄시트에 의한 다층 공기층 구조로 구성된 BW 개념을 바탕으로 국내 공동주택에 적용 가능한 패시브환기외피(Passive Ventilation Skin, 이하 PVS) 개발을 최종 목표로 한다. 선행연구⁽³⁾에서 제안된 6종류(사양)의 PVS를 대상으로 열·공기 동시이동에 관한 수치시뮬레이션을 실시한다. 선행연구에서 한국의 기상조건을 고려하여 환기설계된 유효개구면적이 상이한 6타입의 PVS 코어부를 대상으로, 겨울철 난방조건에서 부재를 통하여 공기의 유출입이 있을 때 부재 내부 온도분포의 변화 및 열회수량 변화를 검토한다.

1.2 기존 연구 동향

일본에서는 1990년대에 주거건물 등에 적용가능한 알루미늄 시트와 탄화벚집을 이용한 BW 코어부

를 개발하였다. Hoyano. A 등은 알루미늄 시트에 의한 BW 시스템의 기본 설계 및 물성치의 실험^(4,5)을 하였으며, Sugawara. M 등은 BW를 통과하는 공기, 열, 습기의 이동 계산식 작성 및 실험을 통한 검증⁽⁶⁾을 하였다. Yoon 등은 BW를 주택의 지붕에 적용하였을 때의 환기량과 열회수성능, 결로발생에 미치는 영향에 대한 실험적 검증⁽⁷⁾과 BW를 단독주택의 천정 및 벽체 전면에 적용하여 자연환기성능 및 열성능을 평가하였고,⁽⁸⁾ BW가 설치된 주거건물에서 외부풍압이 실내의 열환경에 미치는 영향에 대한 연구⁽⁹⁾를 진행하였다. 국내에서는 윤성환 등이 한국의 기상조건을 고려한 환기설계를 실시하여 유효개구면적이 상이한 6타입의 PVS 코어부 타입을 제안하고,⁽³⁾ 한국 탑상형 공동주택 표준모델에 적용하는 방안을 검토하였다.⁽¹⁰⁾

2. BW의 개요

일본의 BW는 Fig. 1에서와 같이 다공 알루미늄 시트에 의한 다층 공기층 구조로 코어부를 중심으로 외장재와 내장재가 설치되어 있다. 주거공간을 구성하는 벽·지붕·천정의 넓은 면적을 통하여 열과 공기, 습기를 자연적으로 컨트롤 할 수 있는 부재로 목표기능은 다음과 같다.⁽⁹⁾

- (1) 공조설비를 이용하지 않고, 자연상태에서 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.

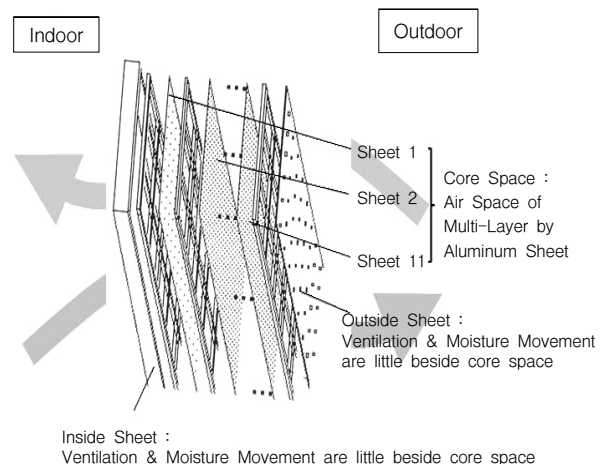


Fig. 1 Breathing wall.

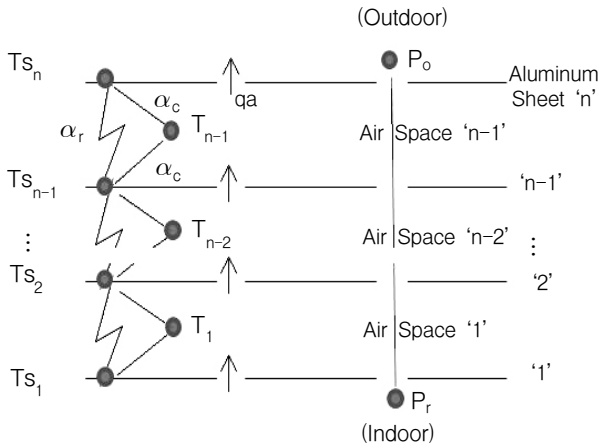


Fig. 2 Diagram of heat transfer.

3. 수치시뮬레이션 개요

PVS의 통기(通氣)성능과 단열성능을 예측 평가하기 위해서 기존 연구⁽⁶⁾에서 개발된 열·공기 동시 이동 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 방사열 전달(ar), ② 알루미늄 시트표면과 공기층 사이의 대류열전달(ac), 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.

PVS의 적용부위는 기존연구⁽¹⁰⁾ 결과를 활용하여 국내 탑상형 공동주택 표준 모델에서 남북측의 창호

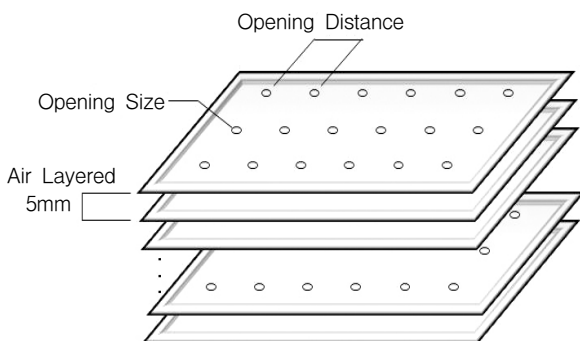


Fig. 3 Form of core space of breathing wall.

Table 1 Specification of aluminum sheet

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

상하부에 4 m² 크기로 적용하는 것으로 설정하였다. PVS 사양은 미세한 구멍을 갖는 10장의 알루미늄 판에 의한 다층공기층을 기본구조로 중부·남부·제주도 지역의 외기조건에서 필요 환기량을 만족하는 αA가 10 cm²/m², 20 cm²/m², 40 cm²/m², 50 cm²/m², 60 cm²/m², 80 cm²/m² 등 기존연구⁽³⁾의 환기설계 결과인 6 가지 타입을 대상으로 하였다. 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 αA에 따라 공간격을 다르게 설정하였다. 계산시의 실내외조건으로는 실내온도 25℃, 실외온도 0~20℃, 압력차는 5 Pa 이하로 설정하였다.

4. 수치시뮬레이션 결과

본 장에서는 6종류의 유효개구면적(αA)을 지나는 부재별로 실내외 압력차 변화 시 αA에 의한 내부 단면온도분포의 변화를 검토하고 실내로 유입되는 공기의 온도변화를 통해 열회수량을 예측평가하였다.

4.1 내부 단면온도분포 변화

실외온도가 0℃, 실내온도는 25℃인 경우, 통기량의 변화에 유효개구면적(αA)별 부재의 내부단면온도분포 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 필요환기량 0.7 ACH에 해당하는 통기량 48 m³/h·m²으로 외기가 실내로 유입되는 경우에도 실내표면온도는 20℃ 이상으로 유지되는 것을 확인하였다(Fig. 4(b)).

동일한 통기량에서 통기방향에 따른 단면온도분포 변화를 보면, 실내공기가 옥외로 유출되는 경우(Outflow)보다 외기가 실내로 유입되는 경우(Inflow) 온도구배가 작게 나타난다. 이는 실내공기가 옥외로 유출되는 경우 공기흐름과 열류방향이 동일하나 외기가 실내로 유입되는 경우에는 그 반대가 되는 동적단열에 의한 것이다. 즉 겨울철 난방조건에

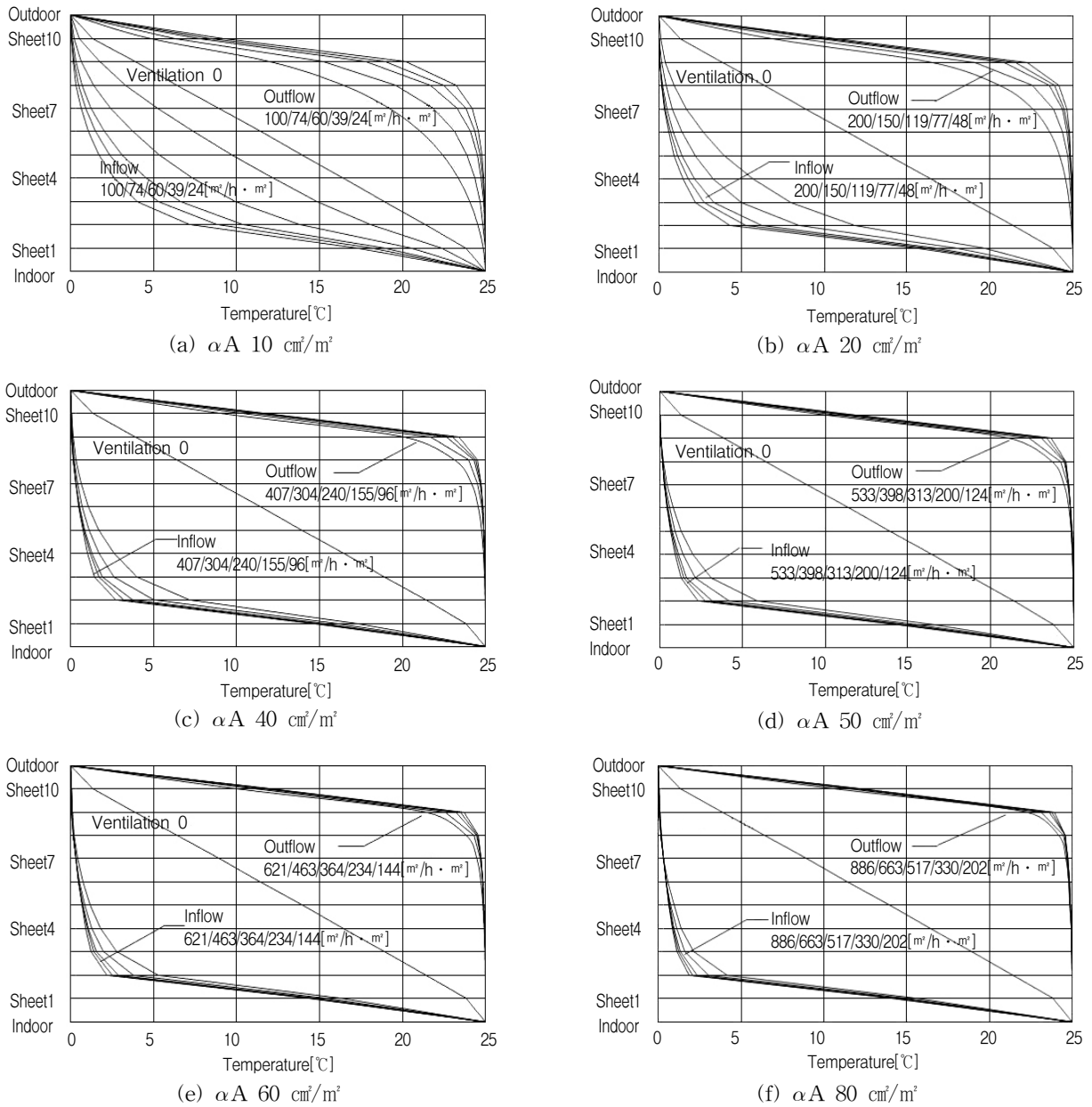


Fig. 4 Temperature change of PVS.

서 실내에서 옥외으로의 열류방향에 의해 부재내부가 데워지는데 외기가 부재내부를 통과해서 실내로 유입되며 각층의 알루미늄표면에서 열교환이 일어나 점차 데워지는 현상이 발생함에 기인한 것이다.

또한 통기량이 증가할수록 가장 실내측 알루미늄판과 가장 옥외측 알루미늄판에서의 온도구배가 커지는 것을 확인할 수 있다. 환기부하 절감을 위해서는 가장 실내측 알루미늄판에서의 열교환효율이 중요하고 이 구간에서 단열성능을 확보하는 것이 부재 전체 열성능을 향상시키는 데에도 도움이 된다는 것을 알 수 있다.

4.2 유입온도 변화와 열회수량

PVS를 통과하여 실내로 유입되는 외기는 다층의 공기층을 통과하면서 열회수에 의하여 그 온도가 상승하게 된다. 옥외에서 실내로 유입되는 공기의 열류량은 다음 식으로 계산된다.

$$Q_{hr} = VC_p\rho(T_{in(f)} - T_o) \quad (1)$$

외기온이 0°C에서 25°C로 변화될 때, 유효개구면적(αA) 및 통기량에 따른 실내유입 외기온도 변화와

Table 2 Temperature change and heat recovery when ACH is 0.7

Outdoor Temperature [°C]	αA [cm ² /m ²]	Temperature Change of Inflow Air [°C]	Final Temperature [°C]	Heat Recovery [W/m ²]	αA [cm ² /m ²]	Temperature Change of Inflow Air [°C]	Final Temperature [°C]	Heat Recovery [W/m ²]
0	10	13.7	13.7	242.7	20	13.9	13.9	245.1
5		10.7	15.7	191.8		10.9	15.9	193.3
10		8.0	18.0	147.3		8.2	18.2	149.5
15		5.6	20.6	99.9		5.6	20.6	101.6
20		3.1	23.1	55.7		3.2	23.2	58.6
0	40	13.7	13.7	247.8	50	13.7	13.7	248.7
5		10.8	15.8	193.8		10.8	15.8	200.2
10		8.1	18.1	150.5		8.2	18.2	151.3
15		5.6	20.6	103.1		5.6	20.6	103.5
20		3.2	23.2	57.6		3.2	23.2	59.4
0	60	15.8	15.8	250.1	80	15.0	15.0	246.8
5		12.6	17.6	199.3		12.5	17.5	207.0
10		9.5	19.5	153.2		8.4	18.4	154.6
15		5.2	20.2	104.2		5.7	20.7	105.7
20		3.0	23.0	57.4		3.3	23.3	62.4

열회수량을 Fig. 5와 Table 2에 나타내었다. 통기량이 증가할수록 실내로 유입되는 외기온도는 낮아지지만 그 열회수량은 많아진다. $\alpha A 20 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ 인 경우, 0.7 ACH를 만족하는 통기량 $48 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 에서 0°C의 외기는 PVS를 통과하여 실내에 유입될 때 13.9°C의 온도상승 효과가 발생하며 이때의 열회수량은 245.1

W/m²가 된다. 유효개구면적이 증가함에 따라서 실내로 유입되는 외기의 온도상승 효과가 증가하는 경향을 볼 수 있다. 이는 동일 통기량인 경우 유효개구면적이 큰 경우가 유속이 느려 알루미늄표면에서 충분한 열교환이 발생한 것이 원인으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구는 국내 공동주택 적용을 전제로 제안된 6종류(사양)의 패시브환기외피(Passive Ventilation Skin)를 대상으로 부재의 기본적인 열성능을 검토하기 위해 수치시뮬레이션을 실시하여 겨울철 난방 조건에서 부재를 통하여 공기의 유출입이 있을 때 부재 내부 온도분포의 변화 및 열회수량 변화를 검토하였다. 그 주요결과는 다음과 같다.

1) 동적단열에 의해 단면 온도분포에서 실내공기가 옥외로 유출되는 경우(Outflow) 보다 외기가 실내로 유입되는 경우(Inflow) 온도구배가 작게 나타났다. 실내/외온도조건 25°C/0°C에서 필요환기량 0.7 ACH에 해당하는 통기량 $48 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ 으로 외기가 실내로 유입되는 경우에도 실내표면온도는 20°C 이상으로 유지되는 것을 확인하였다

2) 통기량이 증가할수록 가장 실내측 알루미늄판

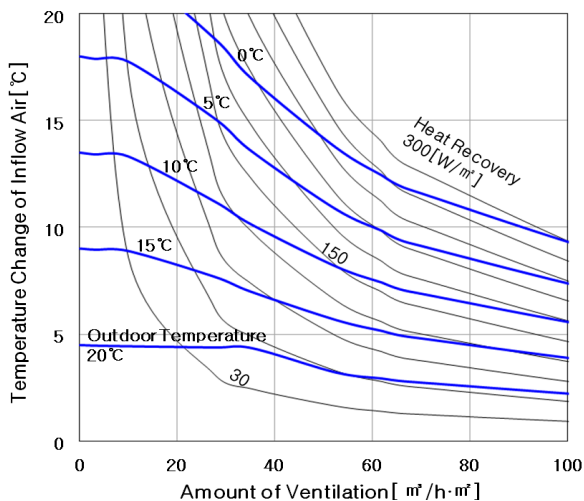


Fig. 5 Heat Recovery and Temperature Change of Inflow Air by Amount of Ventilation ($\alpha A 50 \text{ cm}^2/\text{m}^2$).

과 가장 옥외측 알루미늄넙판에서의 온도구배가 커지는 것을 확인할 수 있었다. 환기부하 절감을 위해서는 가장 실내측 알루미늄넙판에서의 열교환효율이 중요하고 이 구간에서 단열성능을 확보하는 것이 부재 전체 열성능을 향상시키는 데에도 도움이 된다는 것을 시사하였다.

3) 통기량이 증가할수록 실내로 유입되는 외기 온도는 낮아지지만 그 열회수량은 많아진다. 동일 통기량인 경우 유효개구면적이 큰 경우일수록 실내로 유입되는 외기의 온도상승 효과가 커진다. 이는 동일 통기량인 경우 유효개구면적이 큰 경우가 유속이 느려 알루미늄넙표면에서 충분한 열교환이 발생한 것이 원인이다.

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., 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.
- Yoon, S.-H., 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.
- 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.
- Yoon, S.-H. 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.
- 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.
- Ower, E. and Pankhurst, R. C., 1966, The measurement of Air Flow, Pergamon Press Ltd.