

Mock-up 실험을 통한 통기성 커튼월의 단열 및 결로방지 성능평가

이 미 진, 이 선 우, 여 명 석*†, 김 광 우*

서울대학교 대학원 건축학과, *서울대학교 건축학과

An Experimental Study on Insulation and Preventing Condensation Performance of Ventilated Curtain Wall

Mi Jin Lee, Sun Woo Lee, Myoung Souk Yeo, Kwang Woo Kim*†

Department of Architecture, Graduate School of Seoul National University, Seoul, Korea

*Department of Architecture, College of Engineering, Seoul National University, Seoul, Korea

ABSTRACT: Curtainwall systems has been applied to buildings widely for constructability. However, as curtainwall system include many building materials, they become to damaged vapor barrier and incur condensation. Natural ventilation of an air cavity in a curtainwall is expected to be an prevention of condensation in inner wall and reduce cooling energy in summer. The objective of this experimental study is to evaluating the insulation and condensation performance of ventilated curtainwall with ventilated cavity depth and ratio of opening area.

Key words: Mock-up test(mock-up 실험), Ventilated curtainwall(통기성 커튼월),
Insulation(단열), Preventing Condensation(결로방지)

기 호 설 명

AC₇₀ : 비통기성 커튼월 (중공층 폭 70mm)

VC₁₀₀ : 통기성 커튼월 (중공층 폭 100mm)

VC₃₀ : 통기성 커튼월 (중공층 폭 30mm)

1. 연구의 배경 및 목적

최근 커튼월은 공기단축, 경량화, 가설공사의 간략화로 고층 건물의 외벽에 많이 적용되고 있으며, 전통적인 외벽과 달리 지지벽 또는 프레임에 외장 패널을 부착하여 건물외피의 다양한 형태가 가능하게 되었다. 그러나 커튼월은 많은 구성부재로 이루어져 방습층의 기밀 시공이 용이하지 못하며, 시공상의 부주의로 방습층이 쉽게 찢

어져 발생한 틈새로 수분이 침투하여 결로가 발생하게 된다. 특히 석재커튼월에서는 결로 발생시 자재 특성상 그 피해가 외부로 드러나게 되어 건물 외관을 손상시키고, 투습된 수분으로 인해 구조체의 부식 및 내부 단열재의 단열성능을 저하시켜 에너지 사용량이 증가하게 된다. 이와 같은 커튼월의 합습으로 인한 문제를 방지하기 위해 국내에서는 커튼월 중공층 통기를 통해 벽체 내 수분을 지속적으로 배출할 수 있는 통기구조의 적용이 시도되어 지고 있다.

그러나 통기구조의 성능은 기후조건, 건물의 시공 상태, 운영 등의 영향을 받아 그 효과에 대한 실제적 검증이 필요할 것으로 이다. 이에 본 연구에서는 국내 일반적인 외기 조건하의 기준 커튼월 공법을 유지하면서 중공층 내부를 통기화한 통기성 커튼월의 mock-up 실험을 통해, 통기성 커튼월과 비통기성 커튼월의 단열 및 결로방지 성능비교와 결로방지 성능에 영향을 미치는 계획 인자를 분석하고자 한다.

†Corresponding author

Tel.: +82-2-880-7353; fax: +82-2-885-8057

E-mail address: msyeo@snu.ac.kr

2. 예비적 고찰

2.1 통기성 커튼월의 개념정의

통기성 커튼월이란 커튼월의 외장 패널과 내벽 사이의 중공층에 상·하 개구부를 설치하여 외기를 통기시키는 개념으로 벽체 내 중공층을 형성한 이중외피 중 기능적인 측면에서 외피 내를 통기시켜 실내·외의 환경변화에 적극적으로 대응할 수 있는 능동적인 외피의 개념이다. 통기성 커튼월은 커튼월에 통기 구조를 적용함으로써 중공층 내 온도차에 의해 발생하는 부력을 원동력으로 하여 중공층과 구조체 및 단열재의 습기를 외부로 배출시키고 여름철에는 일사열로 인한 외피의 냉방부하를 저감 시키는 효과가 있다. 이때 중공층 내의 통기로 인한 온도 하강이 예상됨으로 반드시 단열재는 중공층을 기준으로 실내 측에 위치해야 하며, 실내 측에 위치한 단열재의 U-value가 일반 외벽체와 동일하게 적용된다면 중공층 내의 통기로 인한 열손실은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

통기성 커튼월의 계획 시 상부 개구부를 통한 우수의 침입을 차단해야 하며 우수가 중공층 내로 유입되었을 경우에는 중공층의 하부에 배수구의 설치를 통해 우수가 배출되도록 해야 한다. 그리고 중공층 내의 우수가 구조체 및 단열재에 침투 시 함수에 의한 결로 발생 및 단열성능의 저하가 발생할 수 있으며, 중공층 내 기류에 의한 풍압을 견뎌내야 함으로 반드시 중공층 내에 외부의 우수는 차단시키고 실내로부터 발생하는 수분은 통과시키는 투습방수지의 설치가 필요하다.

2.2 통기성 커튼월의 계획인자 선정

통기성 커튼월은 석재패널, 중공층, 투습방수지, 수직·수평각형 프레임 내부에 매입되는 보드 및 단열재, 방습층으로 구성되며 중공층의 상·하부에는 외기가 출입할 수 있는 개구부가 설치되며 그림 1과 같다. 상·하 통기구의 개방으로 중공층 내에서 기류가 발생하여 중공층 표면의 대류 및 복사 열전달에 의한 열류가 기류를 통해 상하 개구부로 빠져나가며, 실내 및 단열재 내의 수분은 확산과 기류에 의해 상·하 개구부로 배출된다. 이와 같이 통기성 커튼월은 중공층 내의

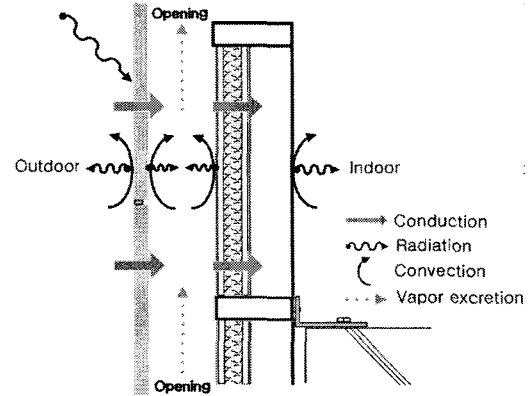


Fig 1. Ventilated curtain wall

Table 1 Heat and mass transfer mechanism

Case	Wall	Cavity	Surface
Heat Transfer	Conduction	Convection, Radiation	Convection, Radiation
Mass Transfer	Diffusion	Convection, Diffusion	Convection

기류로 인해 일반적인 커튼월의 열 및 물질전달 메커니즘과는 다른 특성을 지니고 있으며 이에 대한 열 및 물질전달 메커니즘은 Table 1과 같다.

통기성 커튼월은 외벽체와 내벽체(단열재, 석고보드)내에서 전도에 의한 열전달과 표면에서의 대류 및 복사 열전달, 확산에 의한 물질전달이 이뤄진다. 중공층 표면에서는 대류열전달과 벽체 두면사이에서 복사 열전달이 발생하며 수분은 대류와 확산에 의해 물질전달이 이뤄진다. 중공층 내 대류열전달은 기류속도에 영향을 크게 받으며 기류속도에 영향을 미치는 인자로는 중공층 내 마찰저항, 풍압, 상하부 온도차 등이 있다.

따라서 본 연구에서는 중공층 내 마찰저항에 크게 영향을 미치는 통기성 커튼월 계획인자 중 중공층 폭, 개구부 개방면적에 따른 단열 및 결로방지 성능에 대해 평가하고 비교 분석하였다.

3. 단열 및 결로방지 성능 평가를 위한 mock-up실험

3.1 실험모델 선정

Mock-up실험 모델은 통기성 커튼월의 중공층 폭에 따른 단열 및 결로방지 성능과 통기성커튼

월과 비통기성 커튼월의 성능을 동시에 비교·평가 하기위한 실험을 하기위해 세 모듈의 외피가 설치된 구조체를 시공하였다. 실험은 S대 공대 건물에서 일사의 영향이 가장 적게 나타나 결로 발생의 위험이 가장 높을 것으로 예상되는 북측면에 시공하였으며, 실험실의 높이는 부력에 의한 수직기류의 안정적인 확보를 위해 3층 높이로 시공하였으며 내부는 층별 1개씩 3개의 실로 구성하였다. 규모는 4,034(W)×1,500(L)×10,700(H)mm와 같다.

비통기성 커튼월은 국내 커튼월 건물에서의 일반적인 중공층 폭인 70mm의 1개 모듈을 설치하였고, 통기성 커튼월 중공층 폭의 경우 국외연구에서 통기구조의 적용 시 중공층 폭을 25mm~50mm 정도로 제시 하고 있으며 국내 시공여건상 30mm까지 가능하다는 점을 고려하여 중공층 폭 30mm인 통기성 커튼월 1개 모듈, 폭 70mm보다 중공층 내 마찰저항을 줄이기 위해 중공층 폭 100mm의

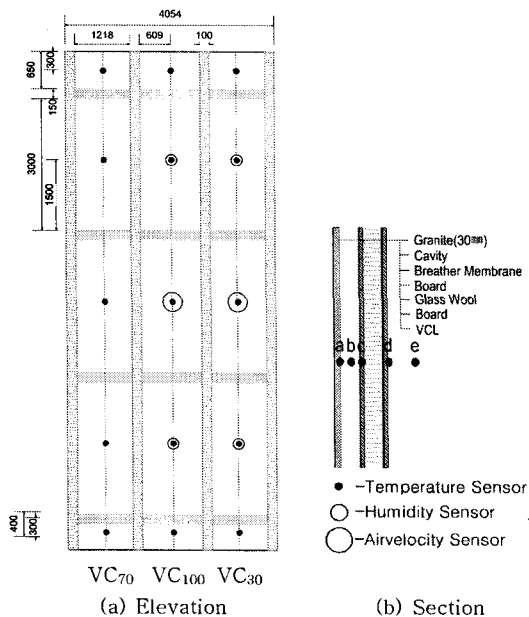


Fig. 2 Sensor measure position of test wall

통기성 커튼월 1개 모듈을 시공하였다.

Fig 1은 각각의 단면과 센서 설치 위치를 나타내며 기류측정의 경우 외부 풍속의 영향을 최소화 하기위해 실험체 정중앙 부분인 2층 중공층 중간부분에서 측정하였다. 실험실 전경은 Fig 3과 같으며 사용된 측정기기 및 센서의 주요사양은 Table 2와 같다.

3.2 실험조건 및 방법

본 실험은 2006년 2월 6일부터 3월 10일까지 33일 동안 Table 3의 조건에 따라 측정을 실시하였다. 통기성 커튼월과 비통기성 커튼월의 단열 및 결로방지 성능 비교와 통기성 커튼월의 중공층 폭 변화에 따른 성능평가를 실시하였다. 개구부의 개방면적 비에 따른 단열 및 결로방지 성능을 살펴보기 위해 중공층 폭이 좁은 VC30의 개방면적 비를 1:1과 1:5로 설정하여 단열 및 결로방지 성능을 살펴보았다.

Table 2 Measuring equipment

	Equipments
Measurement of Temp.	T-type Thermo Couple
Data Logger	HP 34970A
Measurement of Air velocity	DO 9847 Multi Function Meter
Measurement of Humidity	Hygrotransmitter

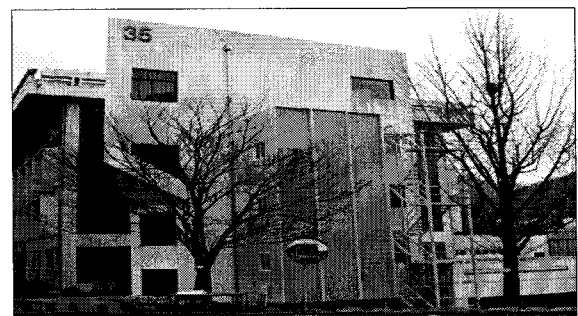


Fig. 3 Mock-up test cell

Table 3 Experimental cases and settings

No.	Case	Wall type	Ratio of cavity area to top opening area	Indoor conditions
1	Performance evaluation between ventilated curtainwall and un ventilated curtainwall (air tight cavity)	AC70	close	Temp. 20°C Rh. 40%
		VC30	1: 5	
2	Performance evaluation of ventilated curtainwall with cavity depth difference	VC30	1: 1	
		VC100	1: 1	
3	Performance evaluation of ventilated curtainwall with opening ratio	VC30	1: 1	
		VC30	1: 5	

4. 단열 및 결로방지 성능평가 실험결과 분석

4.1 통기성 커튼월과 비통기성 커튼월의 성능평가

통기성 커튼월과 비통기성 커튼월의 단열성능 및 결로방지 성능을 비교 분석하기 위해 mock-up 실험체를 대상으로 커튼월 벽체 내 단면별 온도와 중공층 내 상·하부 습도 및 기류를 측정하였다. Fig. 4는 측정기간 중 최저기온이 나타난 1일 간 AC₇₀과 VC₃₀의 중공층 내 온도 및 외기온, 중공층 내 기류속도에 대한 그래프이며, Fig. 5는 위 기간 중 최저 외기온 상태의 커튼월 벽체 내 온도분포를 나타낸 그래프이다.

외기온이 가장 낮게 나타난 1일 동안 AC₇₀과 VC₃₀의 중공층 내 온도차는 1℃ 미만으로 나타났으며, 커튼월 단면 내 온도분포 또한 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. AC₇₀의 중공층 내 상대습도는 60% 이상을 보인 반면, VC₃₀의 경우 지속적으로 47.5% 내외로 상대습도가 유지되는 것으로 측정되었다(Fig. 6). 이와 같은 VC₃₀의 온도 및 상대습도 측정 결과는 VC₃₀의 기류 특성에 의한 것으로, 0.2m/s 이하의 낮은 기류속도는 중공층 내 표면 열손실량을 크게 증가시키지 않은 반

면, 중공층 내 수분은 지속적으로 외부로 유출시켜 단열성능에는 큰 차이가 없지만 결로방지성능 측면에는 VC₃₀이 더 유리한 것으로 판단되었다.

한편, 중공층 내 기류속도가 증가할 경우 중공층 내 표면 열손실량이 증가하여 단열성능이 감소할 것으로 예상되기 때문에, 통기성 커튼월 계획 및 운영 시 중공층 내 기류속도를 낮게 유지하기 위한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

4.2 중공층 폭에 따른 통기성 커튼월의 성능평가

통기성 커튼월의 중공층 폭 변화는 중공층 내 마찰저항의 변화를 가져와 기류속도에 영향을 미치게 된다. 기류속도가 증가할 경우 중공층 표면 대류 열전달량과 기류량의 증가로 통기성 커튼월의 단열 및 결로방지성능에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 본 실험에서는 통기성 커튼월의 중공층 폭이 30mm인 VC₃₀과 100mm인 VC₁₀₀을 비교하여 그 성능을 분석하였다.

Fig. 7은 측정기간 중 최하/최습한 날(최저외기온 -2.2℃, 상대습도 58.3%)의 커튼월 벽체 내 온도분포를 나타낸다. 중공층 폭에 따른 단면별 온도변화에서 VC₃₀과 VC₁₀₀의 실내벽체, 단열재, 중

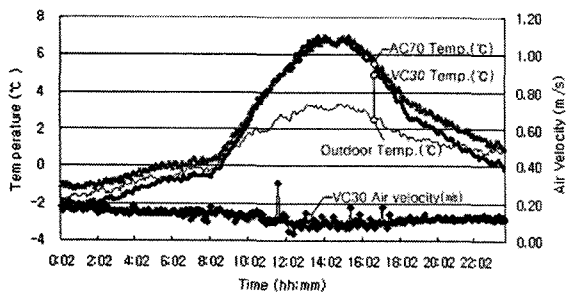


Fig. 4 Temperature and air velocity in cavities of AC₇₀ and VC₃₀

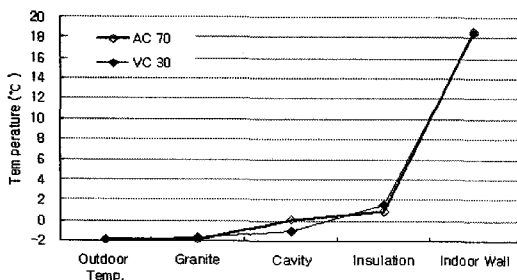


Fig. 5 Temperature variation of AC₇₀ and VC₃₀

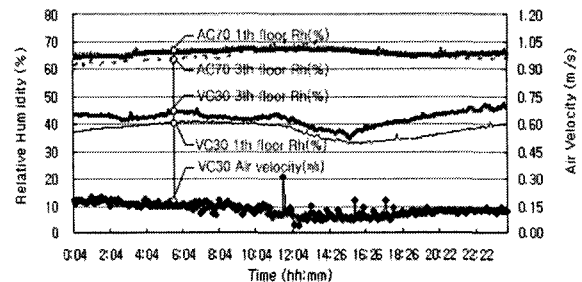


Fig. 6 Air velocity and relative humidity in cavities of AC₇₀ and VC₃₀

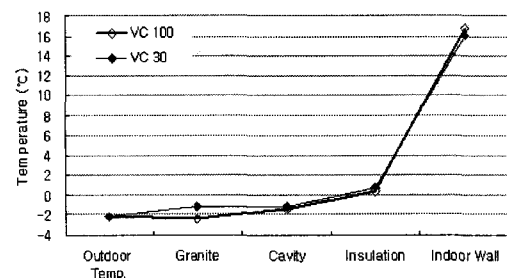


Fig. 7 Temperature variation of VC₁₀₀ and VC₃₀

공층 내 온도는 거의 유사하게 나타나고 있으나 외벽체인 석재표면온도차는 1.2℃로 중공층 폭이 좁은 VC₃₀이 더 높게 나타나고 있다.

Fig. 8의 기류속도를 살펴보면 VC₁₀₀의 기류속도는 평균 1m/s 내외로 나타났으며 VC₃₀은 변동 폭 없이 기류속도가 거의 0m/s로 나타나고 있다. 동일한 외부 조건하에 중공층 폭이 넓은 VC₁₀₀은 중공층 내의 마찰저항이 작아 기류속도는 지속적으로 높게 나타났으며 외부 풍압의 영향에 의해 기류속도 변동 폭도 큰 것으로 나타났다. 이에 따라 석재표면에서 대류에 의한 열손실이 발생하여 VC₃₀보다 온도가 더 낮게 나타난 것으로 판단된다. VC₁₀₀의 경우 외기온이 높아지는 주간에는 중공층 내 온도와 실외 온도차가 크게 나타나면서 기류속도가 증가하고 있으며, 외기온이 낮아지는 야간에는 중공층 내 온도와 실외 온도차가 줄어들면서 기류속도 또한 감소하고 있는 것으로 나타났다. 중공층 폭이 좁은 VC₃₀은 중공층 내 마찰저항이 커져 외부 풍압의 영향에 의한 기류 변화가 거의 나타나지 않는 것으로 판단된다.

Fig. 9의 중공층 내 상대습도에서는 중공층 폭에 따라 큰 차이를 보이지 않고 있는데 본 실험체의 경우 실내방습층의 기밀시공으로 실내에서

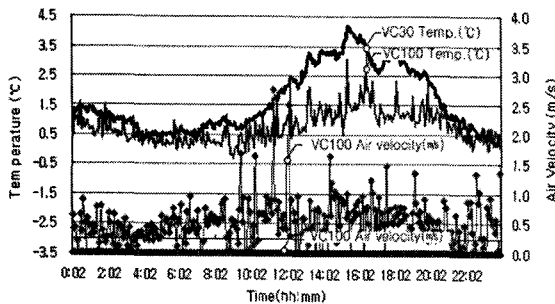


Fig. 8 Temperature of cavity and outdoor difference with air velocity

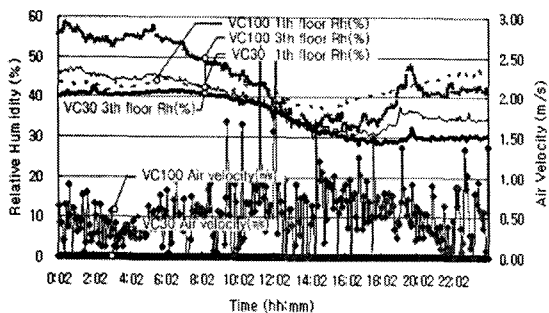


Fig. 9 Air velocity and humidity in ventilated curtainwall with cavity depth difference

중공층으로 유출되는 수분의 양이 많지 않아 확산의 힘만으로도 중공층으로 유입된 수분이 제거된 것으로 판단된다. 따라서 기류가 거의 발생하지 않은 VC₃₀의 결로방지 성능이 우수한 것으로 보여진다.

4.3 개구부 개방면적비에 따른 통기성 커튼월의 성능평가

본 실험에서는 통기성 커튼월의 개구부 개방면적 비에 따른 성능을 비교 분석하기 위해 단일 및 결로방지 측면에서 성능이 좋은 것으로 나타난 VC₃₀의 상부 개구부 개방 면적을 중공층 단면적과 1:1, 1:5의 비로 설정하여 실험하였다.

Fig. 10를 보면 주간에는 외기온은 1:1로 설정하였을 때 1:5로 개방 시 보다 1℃정도 낮게 나타났으나 중공층 내 온도는 2℃정도 높게 나타나고 있다. 이 때 Fig. 11의 중공층 내의 기류속도 변화를 살펴보면 개구부의 개방면적 비에 따라 중공층 내에서 발생하는 기류속도에 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 개구부의 개방면적을 1:5로 설정하였을 때 개구부의 저항이 커져 유입되는 공기량이 많아지며 그에 따라 중공층 내 기

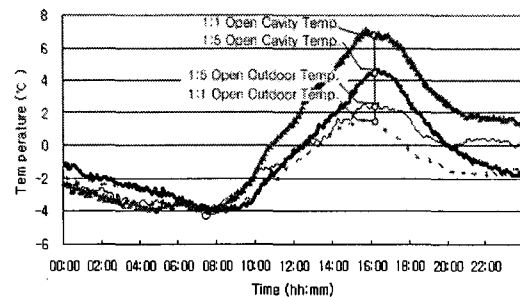


Fig. 10 Temperature of cavity and outdoor with outlet size variation

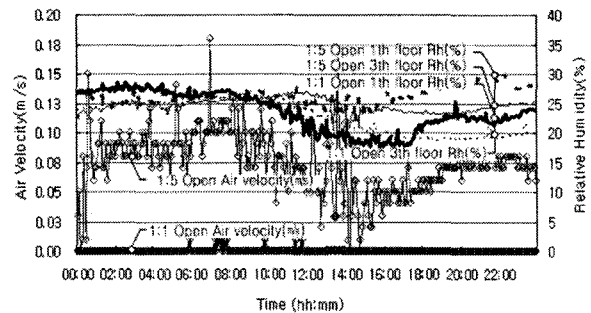


Fig. 11 Air velocity and humidity in ventilated curtainwall with outlet size variation

류속도가 증가하여 중공층 내 표면과 외기와의 온도 차에 따른 대류 열전달량에도 차이를 나타내 중공층 내 온도와 실내측 벽체표면의 온도차가 더 크게 나타난 것으로 판단된다.

중공층 내 상대습도를 살펴보면 1:1로 개방했을 때와 1:5로 개방했을 때 큰 차이 없이 30% 미만으로 나타나고 있다. 이는 실험 2의 결과와 동일한 것으로 낮은 기류속도가 나타나는 1:1로 개방했을 때에도 확산에 의해 중공층 내 수분이 상하개구부로 배출되어 상대습도가 낮게 나타나고 있는 것으로 판단된다.

그러나 통기성 커튼월의 적용 시 실내 방습층의 기밀시공이 불가능하거나, 실내의 습도가 높아 중공층 내로 유입되는 수분이 많은 경우 그리고 여름철 외피를 통한 일사열의 배출로 냉방에너지의 절감 시 확산만으로는 그 성능이 나타나지 않아 충분한 기류속도가 필요할 것으로 예상된다. 따라서 본 연구를 통해 기류속도의 제어시 개구부의 개방 면적의 제어가 필요한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 외기조건하의 mock-up 실험을 통해 건물 벽체의 기존 커튼월 공법은 유지하면서 중공층 내부를 통기화한 통기성 커튼월과 비통기성 커튼월의 단열 및 결로방지 성능 분석과 중공층 폭, 개구부 개방 면적비에 따른 성능평가를 실행하였으며 본 연구에서는 다음 결론을 얻을 수 있었다.

(1) VC₃₀과 AC₇₀의 성능평가를 통해 두 실험체의 중공층 내 온도분포는 동일하게 나타난 반면 VC₃₀의 상대습도는 지속적으로 낮게 나타났다. 이는 통기성 커튼월의 중공층 내 낮은 기류속도에 의한 것으로 판단되며 통기성 커튼월의 계획 시 단열성능을 위해 낮은 기류속도의 확보가 중요한 것으로 판단된다.

(2) 중공층 폭의 증가 시 중공층 내의 기류속도가 증가하는 것으로 나타났으며, 반면 중공층 내 온도는 더 낮게 나타났다. 따라서 통기성 커튼월의 계획 시 단열성능 확보를 위해 기존 커튼월 중공층보다 좁게 계획 하는 것이 유리하다고 판단된다.

(3) 개구부 개방면적비가 커질수록 중공층 내

기류속도가 증가하며 그에 따른 중공층 내 온도와 실내벽체의 온도차가 더 커지는 것으로 나타나 기류속도 증가 시 단열 성능 면에서 더 낮은 것으로 나타났다.

통기성 커튼월의 계획 시 방습층의 기밀시공이 이루어 지지 않거나, 실내습도가 높아 중공층 내로 유입되는 수분이 많은 경우 확산만으로는 수분제거가 불가능하다고 판단된다. 이에 기류를 통한 수분의 제거가 필요하며 개구부 제어의 추가적인 고려가 필요한 것 판단된다.

후 기

본 연구는 삼성물산(주) 건설부문이 출연하고 서울대학교에서 시행한 2004년~2005년도 결로방지를 위한 건물공법별 부위별 온습도 조건별 표준 단열 설계 기술개발사업에 의해 의한 것임.

참고문헌

1. Shim, S. K., 2005, Evaluating Thermal Performance of an Air-Flow Curtain wall System in Buildings, Hanyang University, Seoul, Korea
2. Charlotte Gudum., 2003, Moisture Transport and Convection in Building Envelopes: Ventilation in Light Weight Outer Walls, Technical University of Denmark, R-047
3. Shin, S. J., 2005, Opening Design Strategies of Multi-Story Double-Skin Facade for Optimum Thermal Performance, Seoul National University, Seoul, Korea.
4. Kö, Y. S., Shin, U. C., Oh, B. C. and Jang, M. S., 1998, The Experimental Study for Heat Transfer Characteristics of Exterior Wall Equipped with Air Vent System(I), Proceedings of the AIK, Vol. 19, No. 2., pp. 865-869.
5. Shin, K. J., 1998, Study on Cooling Load Removal in the Building Equipped Air Vent Wall System, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Proceedings of the SARA, pp. 621-626.