

페리미터존의 에어배리어 공조방식에 따른 실내 열환경 평가

박 병 윤[†], 함 흥 돈*, 손 장 열**

수원과학대학 건축과, *대원과학대학 실내환경디자인전공, **한양대학교 건축대학

Evaluation of Indoor Thermal Environment According to Air-Barrier Air Conditioning System in Perimeter Zone

Byung-Yoon Park[†], Heung-Don Ham*, Jang-Yeul Sohn**

Department of Architecture, Suwon Science College, Hwaseong 445-742, Korea

*Department of Indoor Environment Design, Daewon Science College, Jecheon 390-702, Korea

**College of Architecture, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

(Received September 20, 2004; revision received March 9, 2005)

ABSTRACT: For the purpose of investigating the effective removal of heating/cooling load from light-weighted building envelope, two air-conditioning systems, conventional parameter air-conditioning system and air-barrier system, are evaluated and compared by both experiment and simulation with six different cases during heating and cooling season. In addition, the characteristics of window-side building thermal load are assessed by varying supply air velocity in order to seek the optimal system operation condition. The results are as follows. 1) Air-barrier system is more effective to remove heating/cooling load at perimeter zone than conventional parameter air-conditioning system. Moreover, the better effectiveness appears during cooling season than during heating season. 2) The experiment during cooling season provides that indoor temperature of air-barrier system shows 1°C less than that of the conventional system with similar outdoor air temperature profile, and indoor temperature distribution is more uniform throughout the experimented model space. It concludes that air-barrier system can achieve energy saving comparing to the conventional system. 3) The capturing efficiency of air-barrier system is 0.47 on heating season and 0.2 on cooling season with the same supply air volume. It results that the system performs effectively to remove building thermal load, moreover demonstrates high efficiency during cooling season. 4) The simulation results provide that capturing efficiency to evaluate the effective removal of building load from perimeter zone shows high value when supply air velocity is 1 m/s.

Key words: Thermal environment(열환경), Perimeter zone(외부존), Air-barrier system(공기막 방식), Heat load(열부하), Simulation(수치해석)

기 호 설 명

† Corresponding author

Tel.: +82-31-350-2295; fax: +82-31-350-2295

E-mail address: bypark@ssc.ac.kr

A : 외피면적 [m²]

h_c : 대류전달률⁽¹⁾ [kcal/m²·h·°C]

- q_{cv} : 제거열량 [kcal/h]
 q_{ot} : 취득열량 [kcal/h]
 t_i : 실내기온 [°C]
 t_{ot} : 배기온도 [°C]
 t_w : 창면온도 [°C]
 v : 기류속도 [m/s]

1. 서 론

최근 건축물의 냉·난방 에너지 절약을 위해 자연에너지 활용, 하이브리드 공조 및 고효율 냉·난방기 개발 등 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 맥락과 아울러 건물의 대형화, 초고층화에 따른 공조용 에너지 절약을 위한 방안으로 페리미터존의 공조시스템에 대하여 연구·고찰하였다. 한편, 건물에서 공조용 에너지 소비의 원인은 건물 내·외 열환경 차이에 의한 냉·난방 부하라고 할 수 있는데, 특히 건물의 대형화 및 초고층화로 인해 건물 외피는 점차 경량화되고 있으며 유리가 차지하는 면적 또한 증가하게 되어 건물 외피의 단열성능은 냉·난방 에너지 절약 및 실내의 쾌적한 열환경 조성을 위해 더욱 중요하다 할 수 있다.⁽¹⁾

일반적으로 이러한 외피부하를 처리하기 위해 창측 하단에 FCU(fan coil unit)를 설치하여 열적으로 취약한 외피부분의 열손실을 저감하는 방안이 적용되고 있으나 이러한 FCU 방식은 인테리어존(interior zone)과 페리미터존(perimeter zone) 간의 혼합손실이 발생하여 에너지 손실을 가져올 수 있으며, 특히 건물의 인텔리전트화에 따라 천장 및 바닥 공간은 설비 관련 배관뿐만 아니라 정보통신 및 OA 관련 배선의 혼재로 인해 종전의 수방식으로는 정보통신 관련 시스템의 안정성을 확보할 수 없게 되었다.⁽²⁾ 또한, 외피의 고기밀화 경향은 실내공기환경 개선을 위한 환기방법에도 영향을 미쳐 기존 건물에서 발생할 수 있었던 침입외기 또는 창 개방에 의한 환기는 기대할 수 없게 되었으며 전적으로 기계적인 환기방법에 의존하게 되었다.

이와 같은 이유로 인해 최근 대형, 초고층 건물에서는 외피부하의 효율적 처리 및 실내 공기환경의 개선을 위해 수방식보다는 전공기방식을

채택하고 있으며 페리미터존의 공조방식으로는 천장취출방식이 일반적으로 적용되고 있는 실정이다. 그러나 이러한 천장취출방식은 외피부하를 효과적으로 처리하지 못하고 겨울철 콜드드래프트를 발생시키는 문제점이 있어 이의 개선방안으로 air-barrier 시스템이 도입되었다.

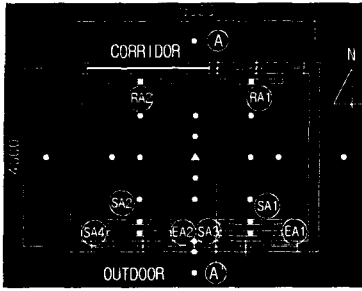
본 연구에서는 실험을 통해 냉·난방기 열환경을 중심으로 기존의 천장취출방식 및 air-barrier 방식에 따른 실내 열환경을 평가하였다. 연구결과를 바탕으로 air-barrier 방식 적용시 실내 열환경 및 건물의 에너지 소비량을 예측하고, 시스템의 효율적인 운전방법을 제시하였다.

2. 실험내용 및 방법

본 연구에서는 페리미터 공조방식 중 가장 일반적으로 적용되고 있는 천장취출방식과 이러한 문제점을 개선하기 위하여 최근 시도되고 있는 air-barrier 방식을 실험을 통해 비교·평가함으로써 공조방식별 부하처리 효과를 파악하고 개선된 시스템의 운전시 효과적인 부하처리를 위한 최적의 운전조건을 설정하고자 한다.

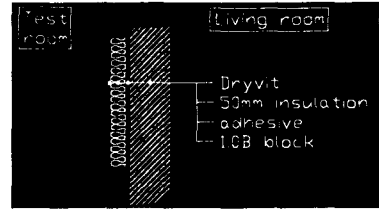
실험은 경기도 양평에 위치한 2층 주택의 1층 거실을 리모델링하여 2000년 하기 및 2001년 동기에 실시되었다. 실험실은 Fig. 1과 같이 L=5m, W=4m, H=2.4m로 구성되어 있다. 한편, 실험목적상 남측을 제외한 벽체의 영향을 최소화하기 위해 동·서·북측과 면한 거실은 실험실과 동일한 온도조건으로 유지하였으며 지붕의 경우 Fig. 2와 같이 기존 구조체 상부에 단열재 및 반사형 단열재를 추가로 설치하였다. 남측은 전면이 유리로 외기와 면해 있어 남측을 페리미터존으로 가정하여 페리미터 공조시스템을 설치하고 온열환경 및 공기환경을 측정할 수 있도록 측정센서를 설치하였다. 측정센서의 설치위치는 Fig. 1(a)에, 실험조건별 실험실 구성은 Fig. 1의 (b)~(d)에 나타나 있다.

Table 1은 측정기기 및 항목을 나타내고 있으며, 실험조건은 Table 2에 나타난 바와 같이 페리미터 공조방식에 따라 조건을 설정하되 이를 냉·난방기로 구분하였으며, 냉방기의 경우 브라인드의 설치조건을 추가하여 6가지 조건에 대해 실내환경을 측정하였다.

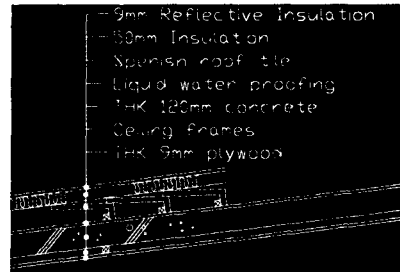


- : Temperature measuring point
- ▲ : Representative point (thermal comfort datalogger measuring point)
- SA1 : Supply air from ceiling diffuser
- SA2 : Supply air from window slot
- SA3 : Supply air from floor diffuser
- RA1 : Return air
- EA1 : Exhaust air

(a) Plan of test chamber

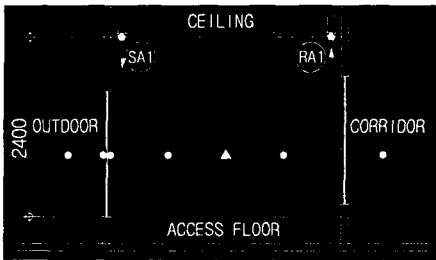


(a) Wall

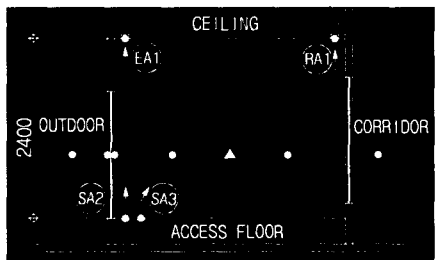


(b) Roof

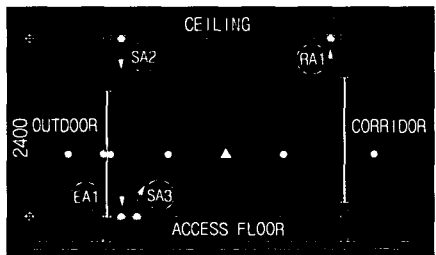
Fig. 2 Detail of wall and roof.



(b) Section A-A' (Case 1, 2, 5)



(c) Section A-A' (Case 3, 4)



(d) Section A-A' (Case 6)

Fig. 1 Plan and section of model room.

Table 1 Measurement instrument and items

Item	Instrument	Location
Temperature	Data logger/C-C thermal couple (0.3 mm)	Indoor 84 point
Relative humidity	Assman type	Representative point
Air velocity	Air flow meter (TSI, 8360-M)	Indoor 12 point SA, RA
Air volume	Air capture hood	SA, RA, EA
Radiant temperature	Globe temperature	Representative point
Solar radiation	Solarimeter	Outdoor

Table 2 Experiment condition

Case	Blind	Air supply and return system		Cooling/ Heating
		Interior zone	Perimeter zone	
1	None	Downstream supply	Not installed	Cooling
2	Install	Downstream supply	Not installed	Cooling
3	None	Floor supply	Air barrier system (upstream)	"
4	Install	Floor supply	Air barrier system (upstream)	"
5	-	Upper supply	Not installed	"
6	-	Floor supply	Air barrier system (downstream)	Heating

3. 실험결과 분석 및 방법

3.1 실내 수평온도 분포

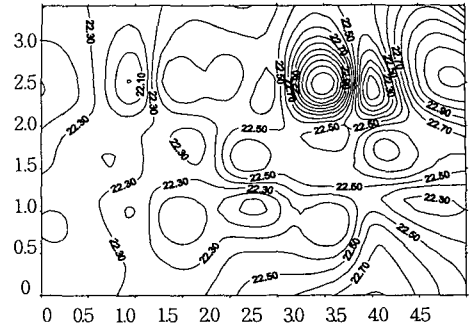
본 연구에서 실내 수평면온도 분포의 기준선은 채실자의 착석시 호흡높이인 1.1m를 기준으로 하였으며, 각각의 온도값은 실내가 안정화된 이후의 온도 데이터들의 평균값을 취하였다. 또한, 조건별 상이한 외기 기상조건을 고려하여 측정일별 유사한 외기조건, 즉 외기온도는 30℃ 이상이고 일사량이 500 kcal/m²·h 이상인 시간대를 기준으로 분석하였다.

Fig. 3(a)는 천장급기방식 중 풍량 500 CMH인 Case 1의 수평면온도 분포를 나타낸 것이다. Case 1의 수평면 평균 온도는 23.2℃이며 표준편차 0.16으로 설정온도인 22.0℃를 상회하는 값으로 비교적 고른 분포를 보이고 있는데 이는 일사의 영향으로 실온이 상승한 것으로 사료된다. Fig. 3(b)는 천장급기방식 중 풍량 350 CMH인 Case 2의 분포를 나타낸다. 전체적으로 Case 1과 비슷한 분포를 나타내며, 평균 온도 22.9℃, 표준편차 0.17의 값을 나타냈다. Fig. 3(c)는 공기벽(air-barrier) 방식 중 풍량 500 CMH인 Case 3의 수평면온도 분포를 나타낸다. Case 3의 수평면 평균 온도는 22.7℃이며 표준편차 0.28로 천장급기방식에 비해 설정온도에 보다 근접하며, 비교적 균일한 분포를 나타낸다. 특히 실중양부의 온도는 천장급기방식에 비해 균일하며, 취출구 주위에서 약간 높은 온도가 유지됨을 알 수 있다. Fig. 3(d)는 Case 4의 수평면온도 분포로서 수평면 평균 온도는 22.5℃, 표준편차 0.35로 Case 3의 경우와 비슷한 온도 분포를 나타내고 있다.

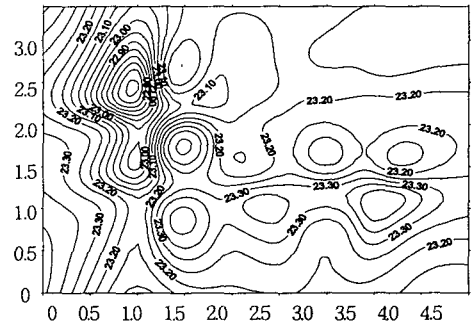
이상과 같이 급기풍량에 따라 실내 수평온도는 비교적 균일하고 설정온도와 거의 유사하게 나타나고 있으나, 급기풍량이 적은 350 CMH의 경우 수평면온도 편차가 약간 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 포집률 분석

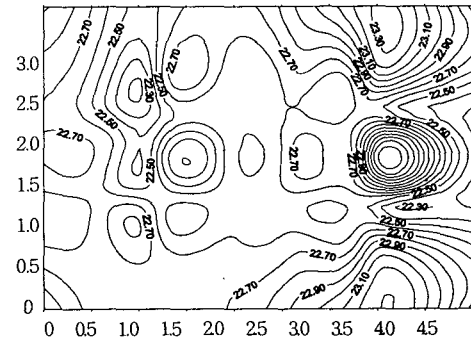
포집률은 취출공기에 의해 천장 및 유리면을 따라 형성된 air-barrier에 의해 열손실 또는 취득되는 제거율을 말하며 다음 식(1)에 의해 나타낼 수 있다.



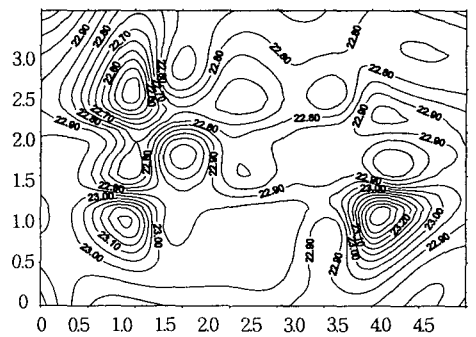
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

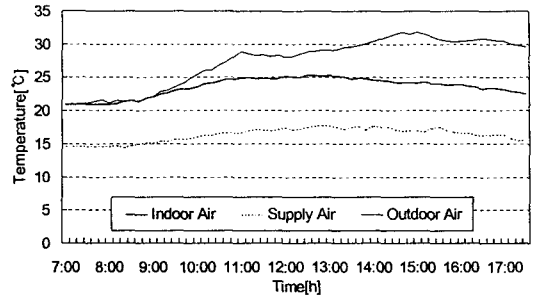
Fig. 3 Plan temperature distribution (Height=1.5 m).

$$\eta = \frac{q_{ot}}{q_{cu}} = \frac{0.29 \cdot v \cdot A \cdot (t_i - t_{ot})}{h_c \cdot A (t_i - t_w)} \quad (1)$$

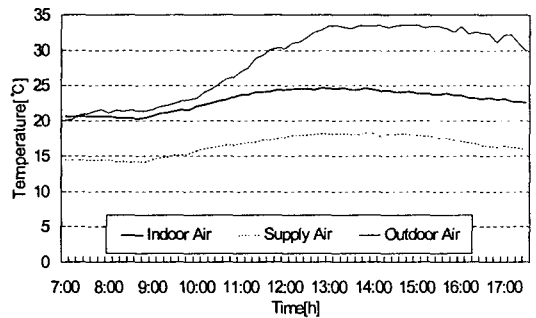
Fig. 4는 Case 4에 있어 일사량 조건에 따른 air-barrier층의 급기 및 배기의 온도차를 나타낸 것으로 창측의 취출 기류속도는 1.5m/s로 하였다. 일사량이 많은 (a)의 경우 하부의 취출공기가 유리면을 따라 평균 0.9℃ 상승하면서 유리면의 부하를 제거였으며 포집률은 0.47로 나타났다. 또한, 일사량이 적은 (b)의 경우 취출공기와 배출공기의 평균 온도차가 0.5℃로 나타났으며 포집률은 0.26로 계산되었다. 상기 실험에 대한 분석결과 일사량 조건에 따라 시스템의 효율이 달라짐을 알 수 있다.

3.3 실내 온도변화

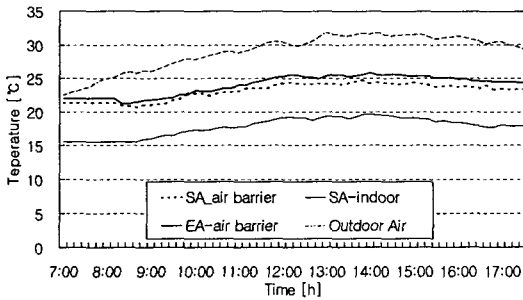
Fig. 5는 각 조건의 측정일 중 일사량 및 외기의 조건이 비슷한 경우를 선정하여 시간대별 실내온도 변화를 나타낸 것이다. 실내온도는 대체로 5℃ 정도의 편차를 보였으나 Case 4의 경우 외피부하의 영향이 커지는 오후 시간대에 있어



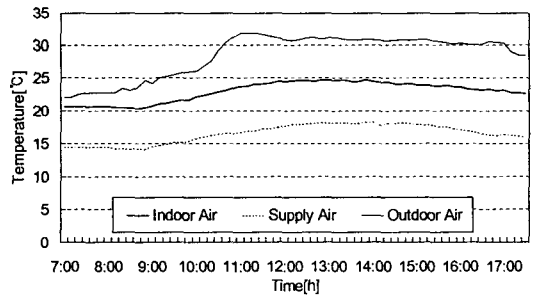
(a) Case 1



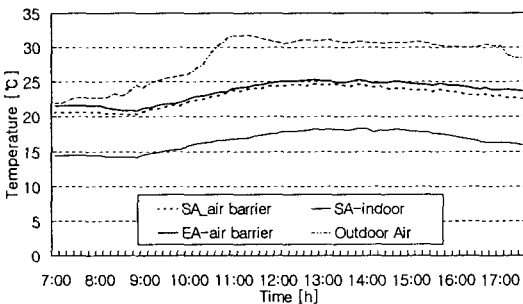
(b) Case 2



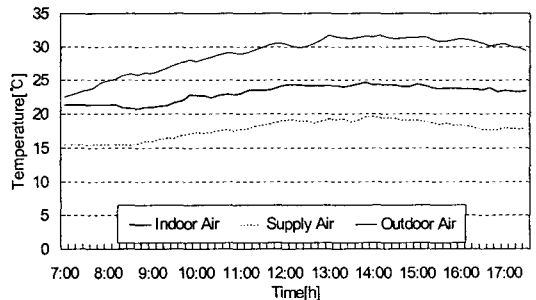
(a) Average solar gain 380 [kcal/m²·h]



(c) Case 3



(b) Average solar gain 110 [kcal/m²·h]



(d) Case 4

Fig. 4 Supply and exhaust air temperature change.

Fig. 5 Supply and indoor air temperature change.

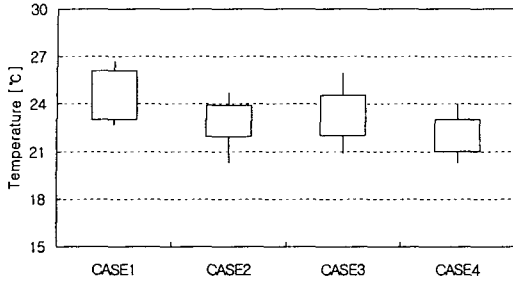


Fig. 6 Indoor air temperature distribution.

안정된 실내온도 변화를 나타내고 있어 외피부를 효과적으로 제거하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 각 조건별 측정일 중 1일의 실내온도 편차를 나타낸 것으로 실내온도는 $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 설정되어 있는 상태이다. 그림에 나타난 바와 같이 조건 1에서 가장 큰 온도 편차를 나타냈으며, 조건 4에서 가장 적은 온도 편차를 나타냈다. 조건 2와 조건 3의 경우를 보면 브라인드가 설치되지 않은 air-barrier 방식보다는 천장취출방식에 브라인드를 설치하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

4. 수치해석 및 결과분석

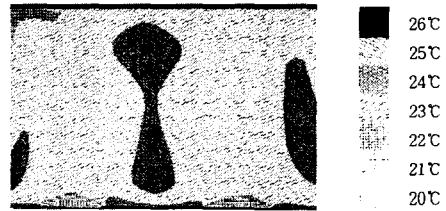
4.1 수치해석 방법

각 보존방정식에 대한 수치해를 구하기 위해서는 전체 계산영역에서의 편미분방정식을 유한차분의 형태로 나타내어 모든 계산 격자점에서 연립해를 구해야 한다. 본 연구에서 사용된 상용 열·유동 해석 프로그램인 STAR-CD에서는 Navier-Stokes 방정식을 채택하고 비직교 좌표계로 구성된 3차원 제어체적을 정의하여 각 보존방정식이 제어체적 내에서 체적적분으로 차별화시키는

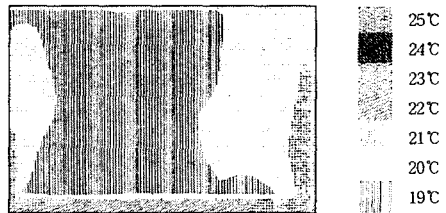
유한체적법을 이용하였다. 수치해석을 위한 경계 조건을 Table 3에 나타내었다.

4.2 수치해석 결과

Fig. 7은 Case 2와 Case 4의 바닥으로부터 1.2 m 높이의 평면온도 분포를 나타낸 것이다. Case 2의 경우 평면상 온도편차는 1.5°C 정도이며, 실내의 평균 온도는 22.5°C 로 나타났다. 창측의 취출구가 설치된 부분을 제외하고 외피로부터 열류가 유입됨을 알 수 있으며 이로 인해 실내의 중앙부분의 온도가 주위보다 0.4°C 정도 높은 것으로 나타났다. 측정결과와 달리 실내온도가 낮게 나타난 것은 실험에서 발생하는 침입외기의 영향을 정확하게 시뮬레이션에 반영하지 못한 원인인 것으로 판단된다.



(a) Case 2, Z=1,200 mm



(b) Case 4, Z=1,200 mm

Fig. 7 Plan temperature distribution.

Table 3 Boundary condition for simulation

Item		Condition
Interior zone	Supply air temperature	17°C
	Supply air velocity	1.5 m/s
	Return air	Pressure boundary
Perimeter zone	Supply air temperature	25°C
	Supply air velocity	$0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$
	Return air	Pressure boundary
Heat load from windows		40°C Heat flux
Indoor wall		Contact room heat flux

Case 4의 경우 평면상 온도 편차는 1.4℃ 정도로 Case 2와 비슷한 경향을 나타냈으나, 실내의 평균 온도는 20℃로 Case 2에 비해 2.5℃ 정도 낮게 나타났다. 또한, 창측으로부터 유입되는 열류는 거의 없는 것으로 나타났지만 창측에 설치된 블라인드 양단으로 온도가 높게 형성된 것을 볼 수 있다. 이는 시뮬레이션에서는 해석결과 실내온도가 20℃로 유지되는 데 반해 창측에서는 25℃의 일정한 온도로 취출되는 공기가 상부로 배기되지 못하고 실내로 유입됨으로써 온도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 8은 air-barrier측의 취출속도에 의한 포집률 변화를 분석하기 위하여 취출속도를 0.5~1.5 m/s로 변화하면서 흡입 측의 온도변화를 분석하였다. 취출측 온도는 실내 설정온도인 25℃로 하였으며, 취출속도를 0.5 m/s인 경우 흡입측 온도는 26.8℃로 취출측과는 1.8℃ 차이가 나타났으며, 1.0 m/s인 경우 1.5℃ 차이, 1.5 m/s인 경우 1℃의 온도차가 나타났다. 한편, 각 경우에 있어 포집률을 분석한 결과 취출속도 0.5 m/s에서 0.31, 취출속도 1.0 및 1.5 m/s에서 0.52로 나타나 1.0 m/s의 속도로 취출하는 것이 시스템의 효율을 고려할 때 가장 적절한 것으로 나타났다.

페리미터 공조방식에 따른 실내환경 특성을 평가하기 위하여 실험실 측정을 실시하고 동일조건의 시스템 성능분석을 위해 시뮬레이션을 실시하였다. 실험결과 창측에 air-barrier를 설치한 페리미터 공조방식에서의 실내온열환경이 가장 양호한

것으로 나타났으며, air-barrier측의 취출속도에 따라 포집률이 달라지므로 효율적인 부하처리를 위한 최적의 취출속도를 설계에 반영하는 것이 필요하다.

5. 결 론

경량 외피구조체의 부하를 효율적으로 제거하기 위하여 전공기방식의 일반적인 페리미터 공조방식인 천장취출방식과 air-barrier 방식에 대해 냉·난방기에 걸쳐 6가지 경우에 대해 실험 및 시뮬레이션을 통해 비교·평가하였다. 또한 최적의 운전조건을 설정하기 위해 취출풍속을 변화시켜 창측의 부하제거 특성을 평가하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) Air-barrier 방식이 기존 천장취출방식에 비해 효율적으로 외피부하를 처리하는 것으로 나타났으며, 난방기보다는 냉방기의 경우에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

(2) 실험결과 냉방기에 air-barrier 방식의 적용시 실내온도는 비슷한 외기조건에서 기존방식에 비해 1℃ 정도 낮게 나타났으며, 실내 평면온도 분포 또한 균일한 것으로 나타나 에너지 절감효과가 있을 것으로 예상된다.

(3) 실험결과 동일한 풍량조건에서 air-barrier측의 포집률은 냉방기 0.47, 난방기 0.2로 나타나 시스템의 적용으로 인해 부하제거 효과가 있는 것으로 나타났으며 냉방기에 더욱 효과적인 것으로 나타났다.

(4) 시뮬레이션결과 페리미터 부하의 효율적 제거 여부를 평가할 수 있는 포집률은 취출속도를 1 m/s로 했을 경우에 가장 높은 것으로 나타나 추후 시스템 운전조건의 기본 자료로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Sohn, J. Y., 2000, A study place of perimeter zone for optimum air-conditioning system, The 5th International Congress on Physiological Anthropology, pp. 217-220.
2. Matunawa, K., 1996, Development and application of an underfloor air-conditioning system with improved outlets of a "SMART" building in Tokyo, ASHRAE Transactions, pp. 887-990.

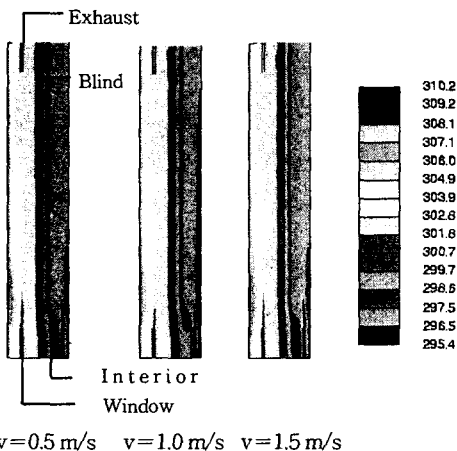


Fig. 8 Temperature variation in air-barrier side with supply velocity.