

모델실험 및 수치해석을 통한 페리미터존 에어배리어 공조방식의 열성능 평가

함 흥 돈[†], 박 병 윤^{*}, 손 장 열^{**}

대원과학기술대학 실내환경디자인전공, *수원과학기술대학 건축과, **한양대학교 건축대학

Evaluation of Thermal Performance for Air-Barrier Air-conditioning System in Perimeter Zone by Scale Model Experiment and Simulation

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

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

^{*}Department of Architecture, Suwon Science College, Hwaseong 445-742, Korea

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

(Received July 20, 2005; revision received August 30, 2005)

ABSTRACT: For the purpose of evaluating the thermal performance for air-barrier air conditioning system in perimeter zone, two air-conditioning systems, conventional perimeter air-conditioning system and air-barrier system, are evaluated and compared by scale model experiment and simulation during cooling season. As a result, measurement shows that supply air velocity of 1 m/s in the upstream direction at perimeter is more effective. Air-barrier system could reduce the cooling energy by 10~20% compared with conventional system. Numerical simulation was carried out considering solar effect for reliable result. This method has improved the accuracy of numerical simulation for the space affected by the solar radiation. Both measurement and simulation results show that supply air velocity of 1 m/s at perimeter is the most effective.

Key words: Thermal performance(열성능), Air-barrier air-conditioning system(공기막 공조방식), Conventional air-conditioning system(기존 공조방식), Simulation(수치해석)

1. 서 론

최근 건물 외피의 경량화에 따라 페리미터(perimeter)에서 발생하는 부하의 효율적인 처리가 더욱 중요해지고 있다. 이에 반해 일반적인 외피 부하를 처리하기 위한 FCU(fan coil unit) 방식은 인테리어존(interior zone)과 페리미터존(perimeter

zone) 간의 혼합손실이 발생하여 에너지 손실을 가져올 수 있으며 건물의 인텔리전트화에 따른 천장 및 바닥 공간에서 수배관 방식의 제한으로 인해 공기방식에 의한 공조시스템이 필요한 실정이다.

공기방식에 의한 시스템의 적용을 위해서는 시스템의 열환경 특성 및 에너지소비 특성을 파악하는 것이 중요하다. 대표적으로 페리미터존의 부하를 공기방식으로 처리할 수 있는 에어배리어(air-barrier) 시스템의 경우 개별실험 및 수치해석이 이루어졌으나, 기존 시스템과의 비교·평가

[†] Corresponding author

Tel.: +82-43-649-3177; fax: +82-43-649-3508

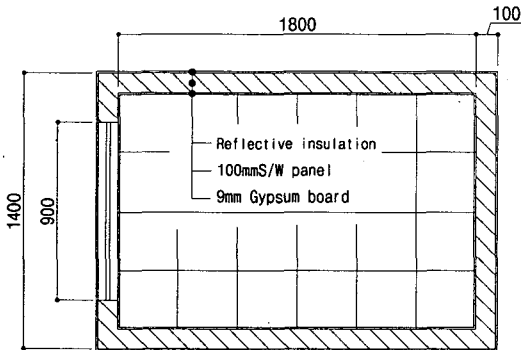
E-mail address: hamhd@mail.daewon.ac.kr

가 미흡하고 수치해석의 경우에는 냉방기입에도 불구하고 일사의 영향을 고려하지 않아 해석의 정확도가 낮은 실정이다.

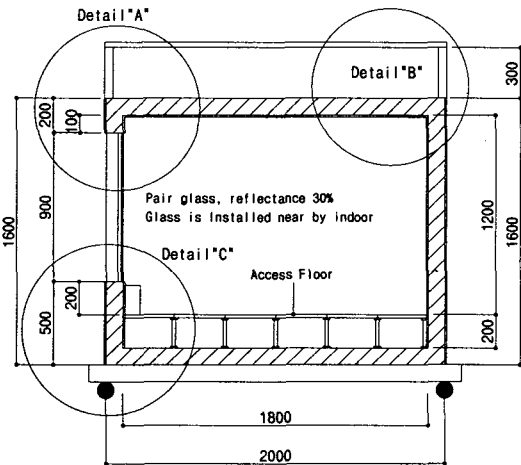
본 연구는 페리미터 공조방식에 따른 열성능 특성을 파악하기 위하여 모델실험 및 수치해석을 실시하였다. 페리미터 공조방식은 일반적으로 적용되고 있는 천정취출 방식과 에어배리어 시스템을 각각 적용하여 동일한 구조체의 모델을 제작하여 실험을 실시하였으며, 일사를 고려한 공조방식별 특성을 파악하기 위하여 냉방기 조건을 설정하였다. 모델별 비교실험은 동일한 외기조건에서 실시되어 공조방식에 의한 열환경 특성 및 에너지소비 특성을 파악하였으며, 운전방식에 따른 시스템의 효율을 평가하였다. 또한, 일사를 고려한 수치해석을 실시하여 페리미터 공조방식에 따른 열환경 특성을 파악하였다.

2. 실험내용 및 방법

모델실험을 위해 Fig.1 및 Fig.2와 같은 동일한 구조체 2동을 제작하였다. 모델은 외주부 공조방식에 의한 열성능 평가를 위한 것이므로 외주부를 제외하고는 부하의 영향을 최소화하기 위하여 100mm 스티로폼 단열재와 외벽에 10mm 반사형 단열재를 부착하여 일사에 의한 부하를 최소화하였다. 모델은 시스템별 열성능 비교를 위한 것이므로 실제 건물조건보다는 다소 축소하여 1.5m×2m×1.5m(W×L×H)로 하였으며, 창문은 1.2m×1.2m(W×H)로 계획하였다. 또한 방위에 따른 열성능을 평가하기 위하여 이동이 가능하도록 하



(a) Plan of model



(b) Section of model

Fig. 1 Plan and section of model.

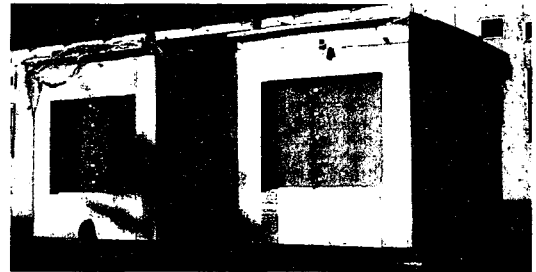


Fig. 2 Appearance of model.

Table 1 Detail of model

	Model A	Model B
Detail "A"		
Detail "B"		
Detail "C"		

- * Diffuser #1
Case-1 : Supply diffuser from return air
Case-2 : Exhaust diffuser from upstream air
- * Diffuser #2 : Supply air diffuser
- * Diffuser #3
Case-1 : Exhaust diffuser from downstream air
Case-2 : Supply diffuser from return air

Table 2 Specification of air handling unit

	Capacity	System	Note
Heater	10,000 kcal/h	Electric heater	
Cooler	8,000 kcal/h	Compression type	
Fan in interior	400 CMH	Sirocco type	Inverter control
Fan in perimeter	100 CMH	Sirocco type	Slidacs control

Table 3 Measurement condition

Case		Azimuth	Perimeter supply direction	Air velocity
Case-1	Model A	South	Downstream	0.5~2 m/s
	Model B	South	Downstream	0.5~2 m/s
Case-2	Model A	South	Upstream	0.5~2 m/s
	Model B	South	Upstream	0.5~2 m/s

Table 4 Measurement item and location

Item		Instrument	Measurement point	Note
Temperature	Structure	Thermo-couple data logger	Wall	Interval 1 min
	Indoor/Outdoor	Ondodori (TR72S)	SA, RA, EA, OA	Vertical/horizontal temperature
	Perimeter	Multi-anemometer	Perimeter	Vertical 5 point
Globe temperature		Globe thermometer	Representative point	
Humidity		Ondodori (TR72S)	SA, RA, EA, OA	
Solar radiation		Pyranometer	Horizontal	
Air velocity		Multi-anemometer	Representative point	
Air volume		Pressure meter	AHU	

였으며, 비교평가를 위하여 동일한 구조체로 2동을 제작하였다. 각각의 모델 및 실험조건에 대한 취출구의 위치는 Table 1에 나타내었다.

실험을 위한 공조시스템은 동일한 용량의 공조기 2대를 이용하여 냉방하였으며, 세부적인 용량은 Table 2에 나타내었다. 모델 A는 개선된 공조시스템으로 내주부는 공조기를 이용하고, 외주부는 별도의 급기 및 배기팬을 이용하여 공조를 실시하였다. 모델 B의 경우 기존의 창측 취출방식을 적용하였다. 실내온도는 취출온도를 제어하여 조절하였으며, 풍량의 경우 내주부는 인버터팬에 의해 조절하였고, 외주부의 경우 전압조절기(슬라이더스)를 이용하여 조절하였다.

실험은 냉방기의 실제 외기 기상조건으로 실시되었으며, 모델 A는 개선된 시스템을 적용하였고, 모델 B는 기존의 창측 취출방식을 적용하였

다. Case#1은 냉방기에 상부에서 취출하여 하부로 배기하는 방식이며, Case#2는 하부에서 취출하여 상부로 배기하는 시스템으로 구성하였다. Table 3은 실험조건을 나타낸 것이다.

Table 4는 측정항목 및 기기를 나타낸 것이다. 열환경 측정을 위해 급배기, 실내 및 구조체의 온도를 1분 간격으로 측정하였으며, 페리미터에 대해서는 수직 높이별 온도뿐만 아니라 기류속도를 측정하였다. 기상조건에 대한 일사량, 온습도 및 공조기 내에 설치된 차압계를 이용하여 풍량을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

Fig. 3은 Case-1의 조건에서 모델 A의 시간에 따른 페리미터측 온도변화를 나타낸 것으로 페리

W-1 : 110 cm over EA diffuser, W-2 : 85 cm over EA diffuser, W-3 : 60 cm, W-4 : 35 cm, W-5 : 10 cm

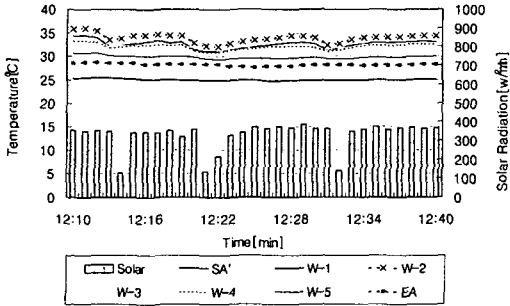


Fig. 3 Temperature change (Case-1, Model A).

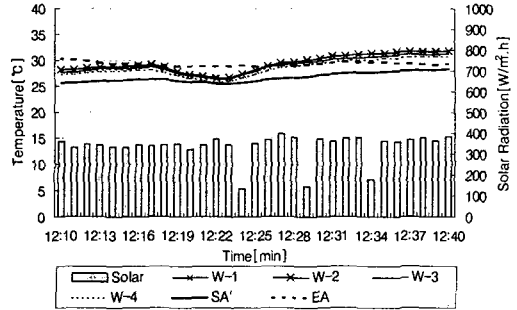


Fig. 4 Temperature change (Case-2, Model A).

미터측의 취출속도를 1.5 m/s로 설정한 경우이다. 그림의 Y축은 온도 및 일사량을 나타낸 것으로 실선은 급기, 배기 및 수직온도를 나타내고 있으며, 하단의 막대는 일사량을 나타내고 있다. 페리미터측의 수직온도는 창 하단으로부터 10, 35, 60, 85, 110 cm의 높이에 설치되었다.

측정결과 실내에 환기되는 공기는 하향 취출되는데 반해 페리미터측의 공기는 일사에 의한 상승기류가 발생하여 취출기류의 방향에 따른 온도 분포는 나타나지 않음을 알 수 있으며, 창 하단으로부터 85 cm 높이의 공기온도가 가장 높게 분포하고 있음을 알 수 있다.

Table 5는 페리미터측의 취출속도에 따른 높이별 평균 온도를 나타낸 것이다. 페리미터측의 취출속도에 관계없이 창측 85 cm 지점에서 가장 높은 온도를 보였으며, 배기를 제외하고 창측 10 cm 지점에서 가장 낮은 온도를 나타냈는데, 일사량이 많은 경우에는 그 차이가 더 크게 나타났다.

Table 5의 결과를 근거로 페리미터측의 취출속도에 따른 현열 제거열량을 식(1)과 같이 계산한

결과 송풍동력을 고려할 때 1.5 m/s로 취출하는 것이 가장 많은 열량을 제거하는 것으로 나타났으며, 2.0 m/s로 취출할 경우에는 페리미터측 높이에 따른 온도편차가 가장 적게 나타났다.

$$q_h = C_p \times Q \times \Delta t \quad (1)$$

여기서, q_h : 제거 열량 [kcal/h]
 C_p : 공기의 비열, 0.29 [kcal/m³·°C]
 Q : 풍량 [m³/h]
 Δt : 급배기 온도차 [°C]

Fig. 4는 Case-2에서 모델 A 페리미터측 취출 풍속 1.0 m/s인 경우의 온도변화를 나타낸 것이다. 배기와 급기의 온도차는 2.9°C 정도 발생하였으며, 높이에 따른 순차적인 온도분포는 나타나지 않았고 취출온도를 제외한 페리미터 내의 온도분포는 다소 불규칙적인 현상을 보였으나 Case-1과 같이 온도의 역전현상은 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

Table 5 Average temperature distribution of perimeter (Case-1, Model A)

Measurement point	1 m/s		1.5 m/s		2.0 m/s	
	t [°C]	Δt [°C]	t [°C]	Δt [°C]	t [°C]	Δt [°C]
SA	25.0	3.2	25.0	3.2	25.1	2.5
110 cm	32.6	-4.4	33.0	-4.8	30.6	-3.0
85 cm	33.9	-5.7	34.1	-5.9	31.2	-3.7
60 cm	32.3	-4.1	32.6	-4.4	30.4	-2.9
35 cm	32.1	-3.9	32.5	-4.3	30.3	-2.7
10 cm	28.8	-1.6	29.9	-1.7	28.4	-0.9
EA	28.2	-	28.2	-	27.5	-

* Δt=EA temperature - measurement point temperature

Table 6 Average temperature distribution of perimeter (Case-2, Model A)

Measurement point	1.0 m/s		1.5 m/s		2.0 m/s	
	t [°C]	Δt [°C]	t [°C]	Δt [°C]	t [°C]	Δt [°C]
SA	23.6	4.3	24.9	3.9	26.2	1.9
110 cm	24.9	3.8	27.1	1.8	29.5	-1.4
85 cm	24.4	4.3	26.7	2.1	29.5	-1.4
60 cm	24.3	4.4	26.6	2.2	29.2	-1.1
35 cm	23.9	4.7	26.1	2.7	28.8	-0.7
EA	27.8	-	28.8	-	28.1	-

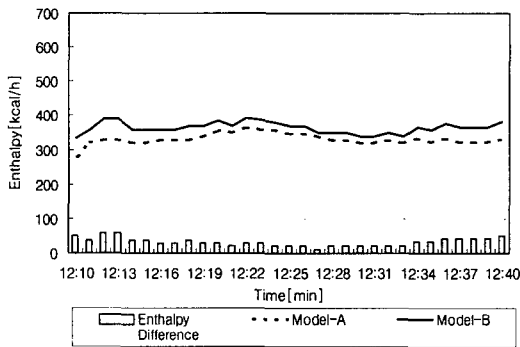


Fig. 5 Supply enthalpy change (Case-1, Model A).

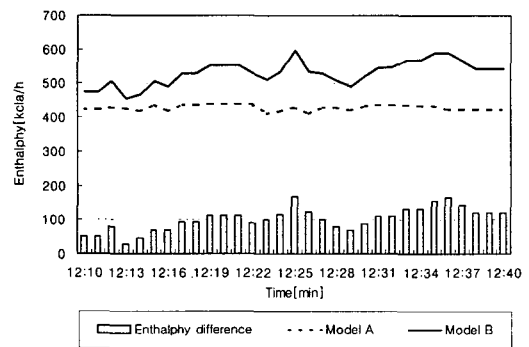


Fig. 6 Supply enthalpy change (Case-2, Model A).

Table 6은 페리미터측의 취출속도에 따른 높이 별 평균 온도를 나타낸 것이다. Case-2는 상향취출의 경우로 취출속도를 낮게 할수록 급기와 배기의 온도차는 크게 됨을 알 수 있다. 식(1)의 계산결과 취출속도 1.0 m/s에서 페리미터측의 제거 열량이 최대가 되는 것으로 나타났다.

Fig. 5와 Fig. 6은 Case별 모델 A와 B에 공급된 열량변화를 나타낸 것이다. 그림에서 상단의 점선은 모델 B에 공급된 열량을 나타낸 것이며, 실선은 모델 A에 공급된 열량을 나타낸다. 또한, 하단의 막대그래프는 모델별 공급열량의 차이를 나타낸 것이다. 외기조건이 상이하여 전체적인 소비에너지는 Case-2가 Case-1보다 다소 많은 520 kcal/h 정도로 나타났다. Case-1에서 모델 A의 공급열량이 모델 B에 비해 10% 정도 저감되었으며, Case-2의 경우 모델 A의 공급열량이 모델 B에 비해 20% 정도 저감되어 냉방기의 페리미터 공조방식에서는 상향취출이 하향취출에 비해 효율적인 것으로 판단된다.

4. 수치해석

4.1 수치해석 개요

실험결과 창측의 air-barrier를 이용한 페리미터 공조방식이 천장취출 공조방식에 비해 외피부 하 처리성능에서 유리한 것으로 나타났으며, 이러한 실험결과를 활용하여 일사를 고려한 수치해석을 실시하였다.

각 보존방정식에 대한 수치해를 구하기 위해서는 전체 계산영역에서의 편미분방정식을 유한차분의 형태로 나타내어 모든 계산격자점에서 연립해를 구해야 한다. 본 연구에서 사용된 상용 열·유동 해석프로그램인 STAR-CD에서는 Navier-Stokes 방정식을 채택하고 비직교 좌표계로 구성된 3차원 제어체적을 정의하여 각 보존방정식을 제어체적 내에서 체적적으로 차분화시키는 유한체적법을 이용하였으며, 복사열에 대한 해석을 복사방정식에 의해 계산하였다.

실험결과 및 수치해석 결과의 비교를 위하여

Table 7 Simulation boundary condition

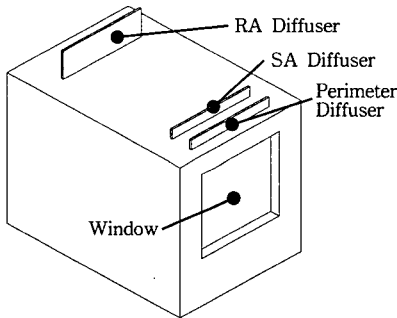
Item	Condition	
Radiation	Radiation/no-radiation	
Curtain porousness	50%	
Supply air velocity	0.5~2.5 m/s	
Interior zone	Supply temp.	17°C
	Return air condition	Pressure boundary condition
Perimeter zone	Supply temp.	25°C
	Return air condition	Pressure boundary condition
Window	Heat flux (solar condition)	
Wall	Measurement results	

Table 7과 같은 경계조건을 갖는 비구형 격자계를 이용하여 모델링을 실시하였다. 격자는 총

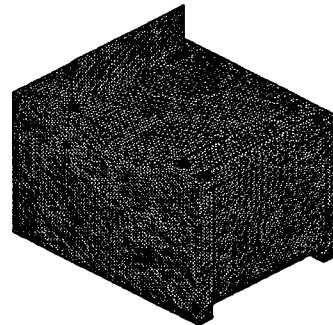
380,000개로 구성하여 실내기류의 난류해석에 비교적 정확한 해석이 가능할 것으로 예상된다. 격자의 구성은 Fig.7과 같다.

4.2 모델실험 수치해석

본 연구는 페리미터에서 유입되는 일사의 영향이 큰 모델에 대한 해석이므로 일반적인 실내공간의 해석에서 적용하지 않는 복사요소에 대해 해석결과에 미치는 영향에 대해 검토하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 복사요소를 고려한 경우 및 고려하지 않은 경우를 나타낸 것이다. 창을 통해 유입되는 일사량은 실험을 근거로 300 [W/m²·h]를 경계조건으로 설정하였다. 유리창의 온도는 복사를 고려하지 않은 경우 41.2°C까지 상승하였으며, 복사를 고려한 경우 35.6°C로 나타났다. 이는 창으로 유입된 일사가 (a)의 경우 대류에 의해서만

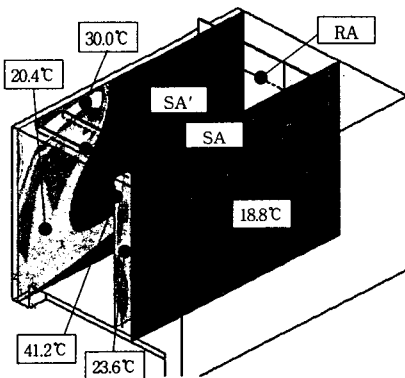


(a) Modeling

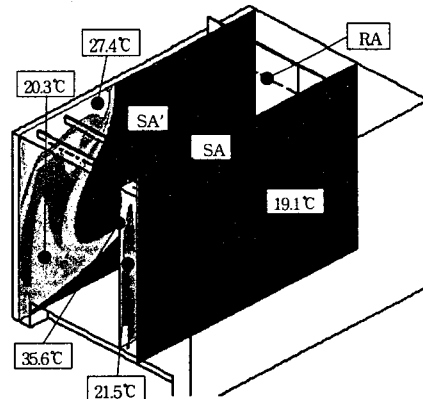


(b) Grid

Fig. 7 Simulation modeling.



(a) No-radiation



(b) Radiation

Fig. 8 Temperature distribution (X=0.1 m, 0.9 m).

실내로 전달되는 데 반해, (b)의 경우 대류뿐만 아니라 복사에 의해 실내로 전달하기 때문에 사료된다. 반면 실내온도의 경우 (a)에서 18.8℃,

(b)에서 19.1℃로 복사를 고려한 경우 약간 높게 나타났다.

수치해석 결과를 실험결과와 비교해 보면 실내

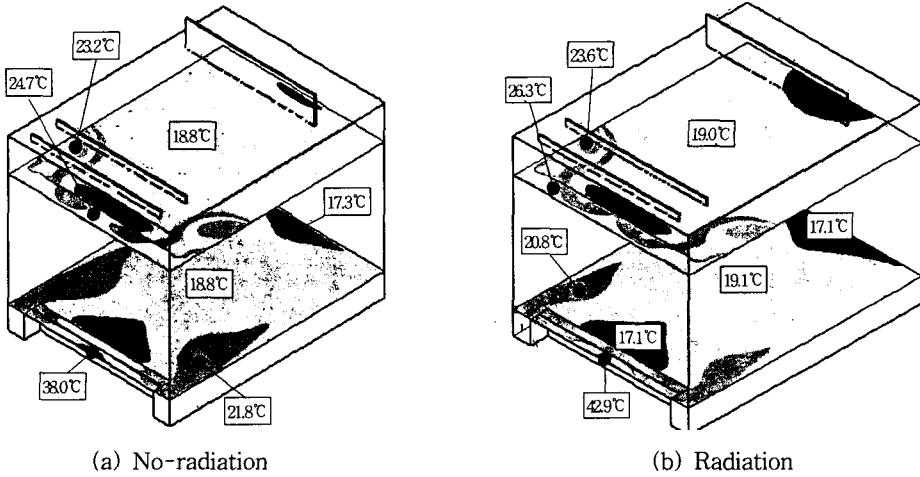


Fig. 9 Temperature distribution ($Z=0.3\text{ m}, 1.2\text{ m}$).

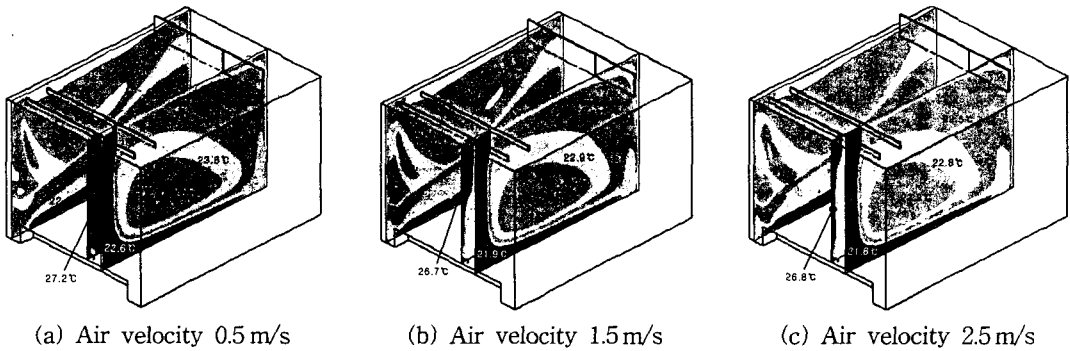


Fig. 10 Temperature distribution according to perimeter supply air velocity.

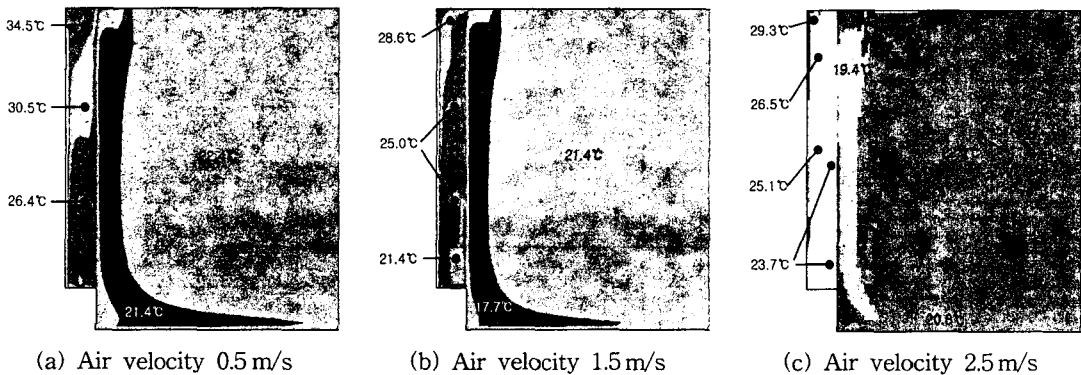


Fig. 11 Temperature distribution according to perimeter supply air velocity.

Table 8 Temperature change in perimeter

Velocity		0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	2.0 m/s	2.5 m/s
Simulation	Indoor temp.	24.4	23.5	22.2	22.5	22.9
	Exhaust temp.	34.5	30.2	28.6	27.3	26.5
	E.A-S.A	9.5	5.2	3.6	2.3	1.5
	Enthalpy	92	100	105	89	73
Measurement	Down-stream supply	3.6	3.2	3.2	2.5	-
	Upstream supply	5.0	4.3	3.9	1.9	0.94

* Elimination enthalpy = $0.299 \times Q \times (E.A - S.A)$

온도의 경우 해석결과가 실험결과보다 낮게 나타났고, 유리창의 경우 실험결과에서 높게 나타나 수치해석에 있어 복사요소를 고려하는 것이 해석의 정확도를 높이는 것으로 사료된다.

Fig. 10은 페리미터측 취출속도 변화에 따른 수직온도분포를 나타낸 것이다. 취출속도가 0.5 m/s인 경우 실내온도는 24.5°C, 1.5 m/s인 경우 22.2°C, 2.5 m/s인 경우 22.9°C로 나타났다. 최저온도 또한 취출속도가 빠를수록 낮은 것으로 나타났는데 각각 22.6°C, 21.9°C 및 21.8°C로 나타났다.

Fig. 11은 페리미터측 취출속도 변화에 따른 수직온도분포를 나타낸 것이다. 취출온도는 실내온도로 설정한 25°C이며 각 조건에 따른 배기온도를 분석해 보면 취출속도가 0.5 m/s인 경우 34.5°C, 1.5 m/s인 경우 28.6°C, 2.5 m/s인 경우 26.5°C로 나타났다. 이들 배기온도와 급기온도의 차이를 보면 각각 9.5°C, 3.6°C, 그리고 1.5°C로 취출속도가 낮을수록 온도차는 크게 나타났다.

Table 8은 페리미터측의 취출속도에 따른 급배기 온도변화의 수치해석 및 실험결과를 나타낸 것이다. 수치해석결과와 실험결과에 있어 다소의 온도차이는 있었으나 경향은 일치하는 것으로 나타나 수치해석을 이용한 페리미터 공조방식의 운전방안의 검토가 가능한 것으로 판단된다. 또한, 실험결과와 동일하게 송풍동력을 고려할 때 1 m/s의 취출속도에서 가장 효율적인 것으로 나타났다.

5. 결 론

페리미터 공조방식에 따른 열성능을 평가하고 이를 근거로 수치해석 및 현장측정을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 냉방기 페리미터 공조방식에 따라 실험에

의한 모델별 열성능을 평가한 결과 하향취출의 경우 1.5 m/s, 상향취출의 경우 1.0 m/s에서 가장 효율적인 것으로 나타났다.

(2) Air-barrier 방식이 페리미터측의 취출방향에 따라 기존 천장 취출방식에 비해 10~20% 정도 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

(3) 일사를 고려한 수치해석결과가 실험결과와 근접하게 나타나 일사를 고려한 해석방법이 일사의 영향을 받는 실내공간 해석에 있어 정확성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 모델실험 및 수치해석결과 air-barrier 공조방식에서 페리미터측의 취출속도를 1 m/s로 하는 것이 외피부하를 가장 효율적으로 처리할 수 있는 것으로 판단된다.

추후, 페리미터 공조시스템의 실제 건물에 적용하였을 경우 부하처리 성능 및 에너지소비량을 종합적으로 평가하여 설계 및 운전방안을 제시해야 할 것이다.

참고문헌

1. Sohn, J. Y., Ham, H. D. and Park, B. Y., 2005, Evaluation of thermal environment according to air-barrier air conditioning system in perimeter zone, Koran Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 370-376.
2. Sohn, J. Y. and Ham, H. D., 2001, An evaluation ventilation performance and local exhaust performance of air-conditioning systems by using tracer gas, Proceedings of the AIK, '2001 Spring Annual Conference, Vol. 21, No. 1, pp. 685-688.
3. Grlicsman, L. R., Norford, L. K., Okutan, G.

- M. and Holden, K. J., 1996, Scale model studies for displacement ventilation, Proc. of the 5th International Conference on Air Distribution in Rooms, ROOMVENT '96, pp. 347-354.
4. Anderson, B. R., 1981, The thermal resistance of airspaces in building constructions, Building and Environment, Vol.16, No. 1.
5. Alan Fine, H., Jury, S. H., et al, 1981, Heat transfer in building thermal insulation the thickness effect, ASHRAE Trans., No. 2640.