실대실험에 의한 에어베리어형 페리미터레스 공조시스템의 실내 열환경 평가

김 용 경†, 이 정 재*
동아대학교 대학원, *동아대학교 건축학부

Evaluation of Thermal Environment through Large-scale Model Experiment on Air-barrier Type Perimeter-less System

Yong-Kyoung Kim†, Jurng-Jae Yee*
Graduate School, Dong-A University, Busan 604-714, Korea
**Faculty of Architectural Design & Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea*

(Received September 1, 2003; revision received October 6, 2003)

ABSTRACT: This paper aims at suggesting design guidelines for a perimeter-less HVAC system that contributes energy savings. Perimeter-less HVAC system is one that relieves difficulties such as handling mixing loss, uneven radiative environment, and maintenance and repair. It prevents heat load gained through window and outdoor wall without modifying a previously equipped building skin system. In this paper, we conducted a large-scale model experiment to see how the push-pull air flow would handle indoor heat to obtain an optimized perimeter-less design, and then we plan to perform several kinds of CFD (computational fluid dynamics) cases through numerical simulation

Key words: Perimeter-less(페리미터레스), Energy savings(에너지절약), Mixing loss(혼합손실), Large-scale model experiment(실대실험)

기 호 설 명

A_{out} : 배기구면적 [m^2]
A_w : 창면면적 [m^2]
h_c : 대류 열전달계수 [kcal/m^2h℃]
t_{in} : 급기온도 [℃]
t_{out} : 배기온도 [℃]
t_w : 창면온도 [℃]
v : 배기풍속 [m/s]

그리스 문자

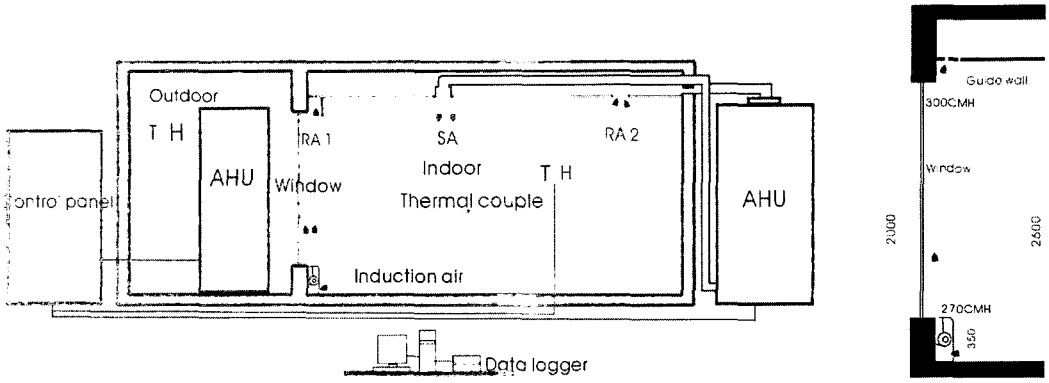
η : 포집률 [-]

† Corresponding author
Tel.: +82-51-200-5728; fax: +82-51-200-5728
E-mail address: yongs25@donga.ac.kr

1. 서 론

건축물에 있어 창은 자연채광, 조망 등과 같이 거주공간에서는 매우 중요한 요소이지만 실내의 온열환경 관점에서는 페리미터 부하 발생의 주된 원인이 되고, 특히 냉방부하의 약 1/3 내외를 차지하고 있다. 더욱이 실내로 침입하는 열은 외기온에 기인하는 전도부하와 일사에 기인하는 복사성분이 공존하며 계절별, 방위별로 크게 변화한다.

이에 대응하기 위해, 공조설비 설계시 창면 하부에 FCU를 설치하여 열적으로 취약한 창면으로



(a) Schematic diagram of experimental apparatus (b) Detail of PFU system

Fig. 1 Schematic diagram of environmental chamber for PFU system.

부터의 열손실을 저감하는 방안이 널리 적용되고 있으나, FCU 방식은 인테리어와 페리미터존 간의 혼합손실문제, 수배관 설치에 따른 결로, 미생물 번식 등의 문제, 신선 외기의 부족에 따른 실내 공기질의 악화문제 등이 발생되고 있다.

상기 문제점을 해결하기 위한 수법으로 선진 각국에서는 airflow window system 등이 개발되어, 실제 건축물에 적용되고 있으나, 시스템의 초기투자비가 막대하며, 창부위 구조체의 중량화로 인하여 고층 건축물에 도입이 곤란한 등의 문제점이 지적되고 있다.

따라서 최근에는 페리미터존의 새로운 열처리 방식으로서 쾌적성 확보 및 에너지 절약을 위한 perimeter-less 공조방식에 관하여 大橋一正 등[1]은 공기유동에 의한 창면의 열적 특성을 평가하고, 平岡憲司 등[2]이 간이형 air-barrier 방식을 제안하는 등 활발히 연구가 진행되고 있다.

필자는 이전 논문[3]에서 바닥급기공조와 air-barrier 방식을 적용하는 실내공간을 대상으로 2차원 CFD 시뮬레이션에 의한 시스템의 성능을 평가하고, 모델실험을 통해 효율성을 검토하였다.

본 연구에서는 실내측 창 하부에 perimeter fan unit(이하, PFU)를 설치하여 실내 공기를 유인, 급기하여 창 상부의 배기구로 push-pull 유동을 형성시켜 창으로부터의 전열부하를 처리하는 air-barrier 방식을 제안하고, 천장급기 공조방식에 적용하는 경우를 상정하여 이전의 연구결과를 기초로 실대실험을 실시하였다.

실험에서는 적절한 송풍량 설정을 통해 냉·난방시 실내 열환경을 평가하고, 실제 건축물에 설계·적용시 air-barrier가 형성되는 적정 풍속과 이때의 실내 열환경을 예측함으로써 perimeter-less 공조시스템의 적용방안을 검토하였다.

2. 실대실험에 의한 열환경 평가

2.1 실험장치의 구성 및 개요

인공기후 실험실 내에 설치한 실험장치는 Fig. 1(a)에 나타낸 것처럼 사무소 건물의 중간층을 모의하여 폭 3.5 m, perimeter 존을 가상한 깊이 5.0 m 및 천장고 2.6 m(층고 2.9 m)의 실내 공간과 외기조건을 임의의 상태로 재현할 수 있는 3.5 m ×2.2 m×2.9 m의 외기 챔버가 연결되어 있다.

또한 PFU 시스템의 디테일은 Fig. 1(b)와 같이 창 주위에 별도의 열원 없이 실온과 동일온도인 실내 공기를 유인하여 창 하부에서 상부로 급기되고, 창 상부의 천장면에 설치된 배기구로 배기

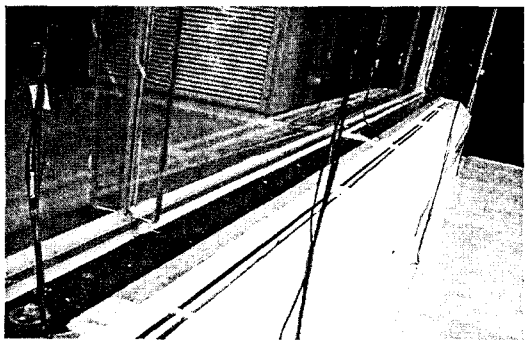


Fig. 2 PFU system (SA).

하는 방식으로 되어 있다.

Fig. 2는 실제 인공기후실험실에 설치된 PFU 시스템의 모습을 나타내는데, PFU의 급기구는 창과 평행한 슬릿의 형태로 폭은 1.2~2.5 cm로 조절할 수 있으며, 급기풍속은 전압을 변화시켜 최대 7 m/s까지 조절 가능하도록 되어 있다. 그리고 PFU 시스템은 별도의 열원을 갖지 않고 실내 공기를 유인하여 급기하는 방식이므로 PFU에서 처리하지 못한 열부하는 실내 공조기에 의해 처리 가능하도록 되어 있다.

한편, 실험실 내부는 실험실 천정면에 설치한 급기구를 통해서 실내로 공급되는 풍량을 400 CMH (환기횟수 10회)로 설정하여 실내 온도를 난방시 23.0℃, 냉방시 25.0℃로 일정하게 유지하였다.

또한 선행 연구[3]의 결과를 기초로 예비실험을 통해서 실내 공기와 air-barrier의 풍량 밸런스를 조정하여 PFU로 약 270 CMH(90 CMH/m)의 공기를 유인하고 천정면의 슬릿(RA1)으로는 PFU의 송풍량보다 10% 증가된 300 CMH로 배기하도록 하였다. 따라서 실내 상부에 설치된 배기구(RA2)를 통해서는 전체 풍량 중 일부의 공기(100 CMH)만을 배기하는 방식으로 설정하였다.

2.2 실험조건 및 방법

실험조건은 창 하부의 급기구의 폭, 위치, 풍속 등 많은 인자가 복합적으로 관계되기 때문에 기존의 연구 및 예비실험을 통해서 얻은 결과를 토대로 PFU의 형태 및 성능을 결정하였다.

그러나 이러한 PFU시스템의 형태에 비해 급기풍량은 시스템의 유용성에 중요한 인자가 되기 때문에 선행 연구 및 예비실험을 통해 적절한 풍량을 검토하였다.

그 결과로 난방시 실험 case는 PFU 가동 유무

Table 1 Condition of experiment

Case		Slit (90 CMH/m)		Guide wall (mm)	Blind	Temperature (℃)		Indoor humidity (%)	Met	Clo
		Velocity (m/s)	Temperature (℃)			Outdoor	Indoor			
Winter	A	-	-	-	-	−10	23	40%	1.2	1.0
	B	1.3	23	-	-					
	C	2.5	23	-	-					
	D	2.5	23	250	-					
Summer	E	-	-	-	-	35	25	50%	1.2	0.5
	F	1.3	25	-	-					
	G	2.0	25	-	-					
	H	2.5	25	-	-					
	I	2.5	25	250	-					
	J	2.5	25	250	O					

Table 2 Measuring item and instruments

Item		Instrument	Point
Temperature	Indoor	T-type thermocouple	90
	Surface		20
	Diffuser		14
Humidity		Assmann ventilated psychrometer	1
		Electric meter (Vaisala)	1
Velocity		Anemomaster (Kanomax)	1
Air volume	SA	Pitot tube-type Micromanomater (FCL)	1
	RA		1
PMV		PMV meter (Innova)	1

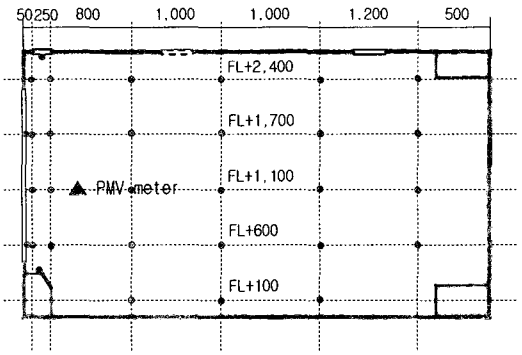


Fig. 3 The placement of thermocouple (section).

와 급기속도(1.3, 2.5 m/s) 및 배기효율 증대를 위한 둘레벽(guide wall) 설치에 따라 4가지 경우로 구분하였다. 또한 냉방시 실험 case는 난방시와 동일한 조건에 급기속도 2.0 m/s 및 블라인드가 설치되는 2가지 경우를 추가하여 총 6 case로 실시하였다.

PFU 설치시 Table 1에 나타낸 실험 case 및 실험조건에 따른 냉·난방시 실내 열환경을 평가하기 위하여 실험은 각 case별로 공조 개시 후 실온이 안정된 것을 확인하고, 2시간 이후부터 30초 간격으로 데이터로거를 이용하여 자동 기록하였다. PFU에서의 급기풍속 제어 및 슬릿의 균일한 풍속을 위해 정전압 조절장치를 이용하였으며, 실험 측정항목과 기구는 Table 2와 같다.

그리고 실험대상 공간의 온도분포를 측정하기 위하여 열전대를 설치하였으며, Fig. 3은 수직면의 온도 측정을 위한 열전대 배치도를 나타낸다.

냉·난방시 전열의 영향을 검토하기 위하여 수직면은 바닥면을 기준으로 각각 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m, 1.7 m, 2.4 m의 5지점으로 설치하였으며, 각 벽체 및 급기구, 배기구의 온도를 검토하기 위하여 각 지점에 열전대를 설치하였다.

또한, 실내 온열환경 및 쾌적감을 비교하기 위하여 창면에서 0.5 m, 바닥에서 1.1 m의 위치에 PMV[4] 미터를 설치하였고, PFU 가동시 air-barrier의 형성 여부 및 배기열량을 산정하기 위하여 수직면의 풍속을 측정하였다.

2.3 포집률의 개요

포집률은 PFU의 급기에 의해 천장 및 유리면을 따라 형성된 air-barrier에 의한 열손실(또는 획득)의 제거율을 말하며, 배기열량(q_{out})을 창면 대류열량(q_v)[5,6]으로 나눈 것으로 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{q_{out}}{q_v} \approx \frac{0.29 \cdot v \cdot A_{out}(t_{i_n} - t_{out})}{h_c \cdot A_w(t_i - t_w)} \quad (1)$$

배기열량은 PFU 급기온도와 배기온도와의 관계에서 대류열량은 실내 평균온도와 창 표면 6개 측정지점의 평균온도와의 관계에서 계산하였다.

그리고 계산에 사용된 대류열전달계수 h_c는 계산의 편의를 위해 Murakami et al.[6]의 연구에 의해 제안된 실험치인 창면 7 kcal/m^{2}h℃을 사용하였다.

3. 실험결과 분석 및 고찰

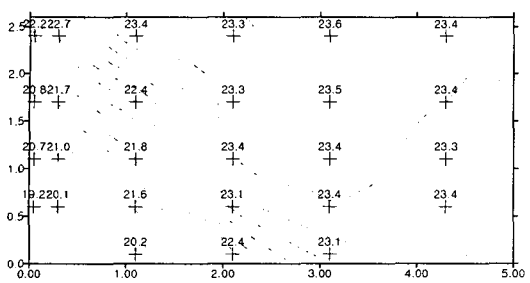
3.1 난방시 실험결과

3.1.1 실내 온도분포 및 쾌적감

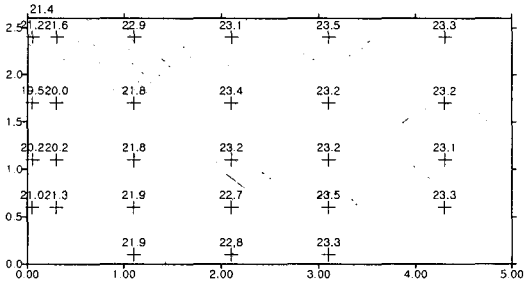
Fig. 4는 전술한 실험조건에 의해 실시한 난방시 실험결과로서, Fig. 4(a)는 PFU 시스템의 무작동으로 창 하부에서 급기가 없을 때(이하, 비급기)이며, Fig. 4(b)~(d)는 PFU 작동시 창 하부에서 급기가 있을 때의 결과이다.

Fig. 4(a)의 비급기시 결과를 살펴보면, 창면에서의 콜드 드래프트의 영향으로 페리미터존의 바닥면 온도가 20.2℃로 실온보다 3.0℃ 정도 낮고 수직 온도차가 나타남을 알 수 있다. Fig. 4(b)는 1.3 m/s으로 급기한 경우로서 창면에서의 콜드 드래프트는 급기되는 기류에 의해 어느 정도 차단되어 바닥면의 온도가 21.9℃로 상승하여 수직 온도차는 감소하지만, 1.7 m의 높이에서 온도가 낮아진다. 이는 air-barrier를 완전하게 형성하지 못하고 실내로 확산되기 때문이라고 판단된다.

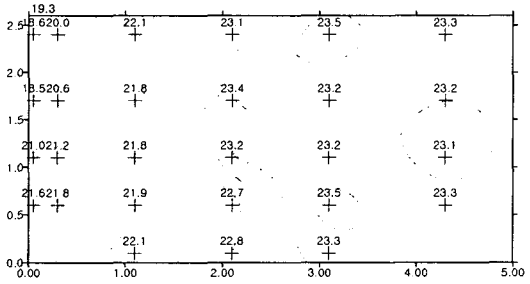
그리고, Fig. 4(c)의 경우는 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 22.2℃의 급기가 어느 정도 air-barrier를 형성하기 시작하면서 창면에서의 콜드 드래프트를 차단하여, 배기구에서의 온도가 19.4℃로 하강함을 알 수 있다. Fig. 4(d)는 case c와 동일한 조건으로 급기하고, 창 상부에 둘레벽(guide wall)을 설치한 경우로서 air-barrier를 형성하면서 창면에서의 콜드 드래프트가 차단되고, 둘레벽의 영향으로 배기온이 18.7℃로 더욱더 낮아지는데, 이는 둘레벽이 상부에서 공기가 실내로 확산되는



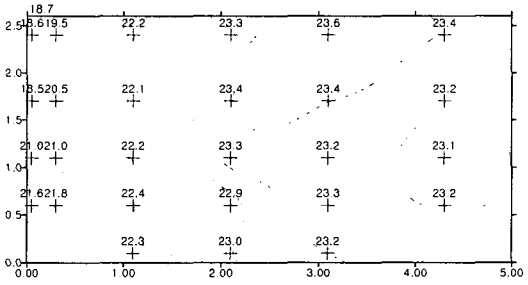
(a) Case A (without PFU system)



(b) Case B (with PFU system, 1.3 m/s)

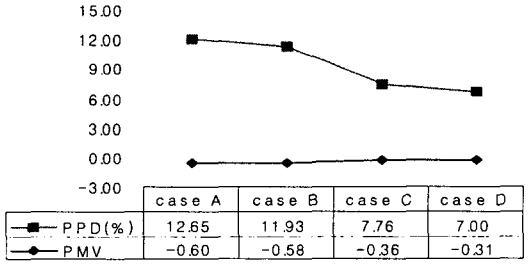


(c) Case C (with PFU system, 2.5 m/s)



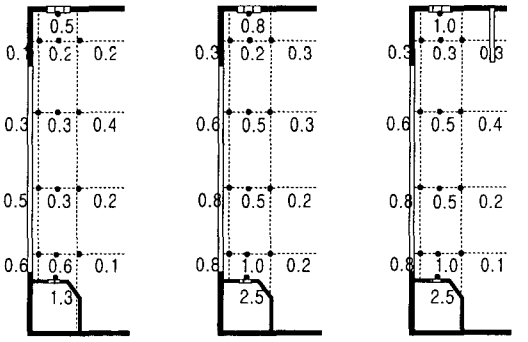
(d) Case D (with PFU system & guide wall)

Fig. 4 Temperature distributions for different operating condition in winter (℃).



	case A	case B	case C	case D
PPD(%)	12.65	11.93	7.76	7.00
PMV	-0.60	-0.58	-0.36	-0.31

Fig. 5 Comparison of PMV & PPD at a distance 0.5 m from window (winter).



(a) Case B (1.3 m/s) (b) Case C (2.5 m/s) (c) Case D (2.5 m/s+GW)

Fig. 6 Air velocity distributions according to inlet air velocity (winter, m/s).

것을 차단한 결과로 사료된다.

Fig. 5는 창면에서 0.5 m, 바닥에서 1.1 m의 위치에서 측정한 PMV를 각 case별로 비교한 것이다. 1.3 m/s으로 급기된 case B는 급기된 공기의 실내 확산으로 쾌적감이 개선되지 못하였으나, case C와 Case D는 PMV가 −0.36, −0.31로서 상당히 쾌적감이 향상되는 것을 알 수 있다.

3.1.2 기류분포

Fig. 6은 급기되는 공기의 속도에 따른 창면부위 풍속의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6(a)는 1.3 m/s으로 급기한 경우로서 높이 1.7 m의 실내측 풍속이 0.4 m/s으로 증가하고, 상부 배기구의 풍속은 0.5 m/s으로 비교적 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 air-barrier를 형성하지 못하고 급기공기가 실내로 확산되고, 배기가 되지 않기 때문이다. Fig. 6(b)는 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 높이에 따라 일정하게 풍속이 감소하며, 상부 배기구의 풍속이 0.8 m/s으로 증가하여 어느 정도 air-barrier가 형성되기 시작한다. Fig. 6(c)는 상부에 둘레벽을 설치하고 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 배기구의 풍속이 1.0 m/s으로 증가하는데, 이는 둘

레벽의 영향으로 air-barrier의 형성이 유리해지는 것을 알 수 있다.

3.2 냉방시 실험결과

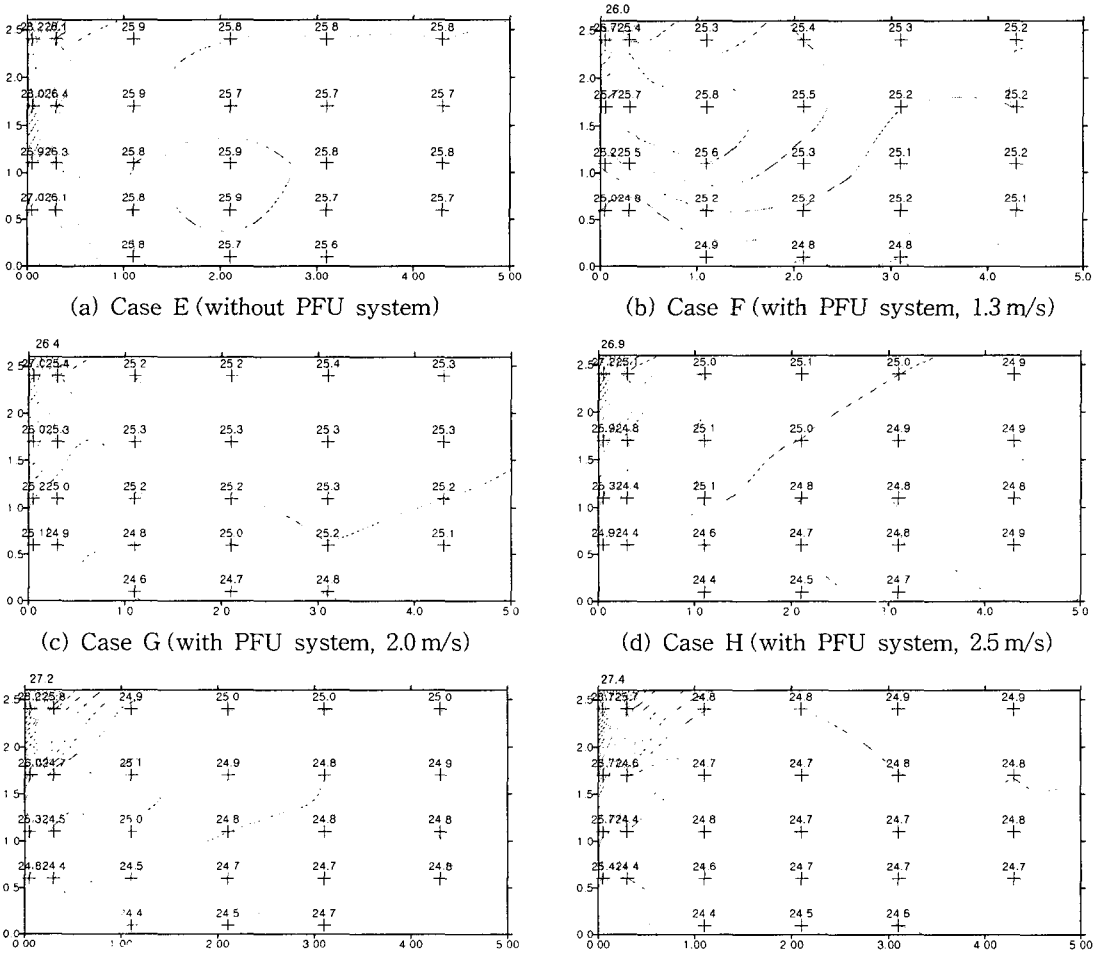
3.2.1 실내 온도분포 및 쾌적감

Fig. 7은 전술한 실험조건에 의해 실시한 냉방시 실험결과로서, Fig. 7(a)는 PFU 시스템의 무작동으로 창 하부에서 급기가 없을 때의 결과이며, Fig. 7(b)~(f)는 PFU 작동시 창 하부에서 급기가 있을 때의 결과이다.

Fig. 7(a)의 비급기시 결과를 살펴보면, 창면에서의 전열에 의한 영향으로 창면 부근의 온도가 대체로 높고, 실온이 설정온도보다 대략 0.8℃ 정도 높게 나타남을 알 수 있다.

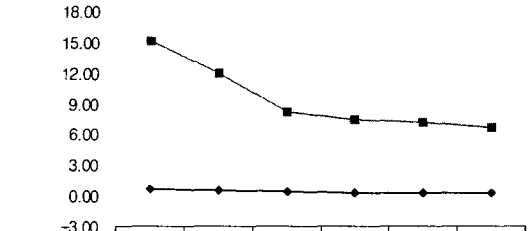
Fig. 7(b)는 1.3 m/s으로 급기한 경우인데, 창면에서의 전열에 의한 영향은 급기되는 기류에 의해서 어느 정도 차단되어 실온은 안정되지만, 창부근의 1.7 m의 높이에서 온도가 비교적 높아진다. 이는 air-barrier를 완전하게 형성하지 못하여 급기되는 공기가 실내로 확산되기 때문이라고 판단된다.

그리고, Fig. 7(c)의 경우는 2.0 m/s으로 급기한 경우로서 24.8℃의 급기가 어느 정도 air-barrier를 형성하면서 창면에서의 전열을 차단하여, 배기구에서의 온도가 26.4℃로 상승함을 알 수 있다. Fig. 7(d)는 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 air-barrier를 형성하면서 창면에서의 전열이 차단되어



(a) Case E (without PFU system)
(b) Case F (with PFU system, 1.3 m/s)
(c) Case G (with PFU system, 2.0 m/s)
(d) Case H (with PFU system, 2.5 m/s)
(e) Case I (with PFU system & guide wall)
(f) Case J (with PFU system, guide wall & blind)

Fig. 7 Temperature distributions for different operating condition in summer (℃).



	case E	case F	case G	case H	case I	case J
PPD(%)	14.43	11.38	7.82	7.14	6.90	6.44
PMV	0.67	0.55	0.37	0.32	0.30	0.26

Fig. 8 Comparison of PMV & PPD at a distance 0.5 m from window (summer).

배기구의 온도가 26.9℃로 높아짐을 알 수 있다.

또한, Fig. 7(e)는 case H와 동일한 조건으로 급기하고, 창 상부에 둘레벽(guide wall)을 설치한 경우로서 둘레벽의 영향으로 배기온이 27.2℃로 높아지는데, 이는 둘레벽이 상부에서 배기효율의 증가 및 air-barrier를 형성하는 데 도움이 되는 것으로 판단된다. Fig. 7(f)는 case H와 동일한 조건으로 급기하고, 둘레벽 및 블라인드를 설치한 경우로서 둘레벽 및 블라인드의 영향으로 배기온이 27.4℃로 더욱 높아지는데, 이는 블라인드의 설치가 air-barrier의 형성을 촉진시켜 외부로부터의 전열차단에 효과적임을 알 수 있다.

Fig. 8은 창면에서 0.5 m, 바닥에서 1.1 m의 위치에서 측정한 냉방시 PMV를 각 case별로 비교한 것이다. 1.3 m/s으로 급기된 case F는 급기된 공기의 실내 확산으로 쾌적감이 개선되지 못하였으나, case G, H, I 및 J는 PMV가 0.37, 0.32, 0.30, 0.26으로서 쾌적감이 향상되는 것을 알 수 있다.

3.2.2 기류분포

Fig. 9는 급기되는 공기의 속도에 따른 창면부위 풍속의 분포를 각 case별로 나타낸 것이다.

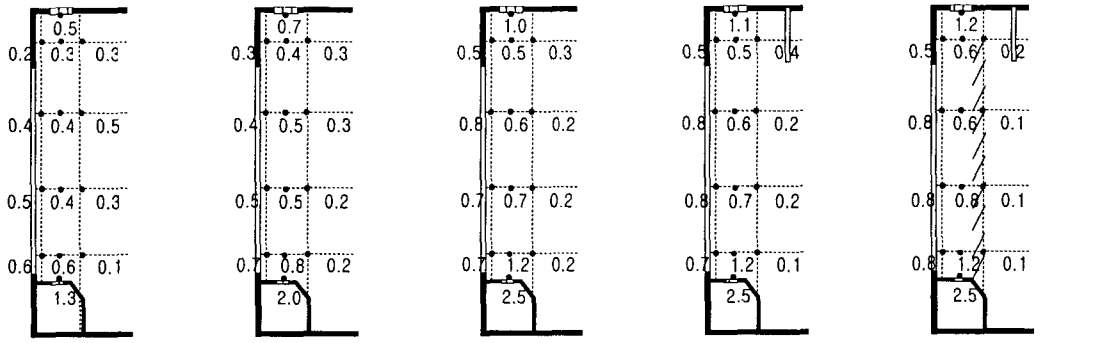
Fig. 9(a)는 1.3 m/s으로 급기한 경우로서 높이 1.7 m의 실내측 풍속이 0.5 m/s으로 증가하고, 상부 배기구의 풍속은 0.5 m/s으로 감소하는 것을 알 수 있는데, 이는 air-barrier를 형성하지 못하고 급기되는 공기가 실내로 확산되므로 배기가 원활하게 이루어지지 않기 때문이다.

Fig. 9(b)는 2.0 m/s으로 급기한 경우로서 높이에 따라 일정하게 풍속이 감소하고, 상부 배기구의 풍속이 0.7 m/s으로 증가함을 알 수 있다. Fig. 9(c)는 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 높이에 따라 일정하게 풍속이 감소하고, 상부 배기구의 풍속이 1.0 m/s으로 증가하여 air-barrier의 형성이 시작된다. Fig. 9(d)는 상부에 둘레벽을 설치하고 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 배기구의 풍속이 1.1 m/s으로 증가하는데, 이는 둘레벽의 영향으로 air-barrier의 형성이 유리해지는 것을 알 수 있다. Fig. 9(e)는 상부에 둘레벽 및 블라인드를 설치하고 2.5 m/s으로 급기한 경우로서 배기구의 풍속이 1.2 m/s으로 증가하는데, 이는 둘레벽 및 블라인드의 영향으로 air-barrier의 형성이 더욱 유리해지는 것을 알 수 있다.

3.3 포집률의 계산결과

실험결과로부터 배기열량, 대류열량 및 포집률을 계산한 결과는 Table 3과 같다.

난방시에는 PFU의 급기속도 2.5 m/s에서 air-barrier가 형성되기 시작하며, 이때 포집열량 181.6



(a) Case F (1.3 m/s) (b) Case G (2.0 m/s) (c) Case H (2.5 m/s) (d) Case I (2.5 m/s+GW) (e) Case J (2.5 m/s+GW+blind)

Fig. 9 Air velocity distributions according to inlet air velocity (summer, m/s).

Table 3 Calculation results of collection effectiveness

Case		Velocity (m/s)		Temperature (℃)			Collection heat quantity (q_{out}, kcal/h)	Convection heat quantity (q_v, kcal/h)	Collection effectiveness (η)
		SA	RA	Inlet(t_{in})	Outlet(t_{out})	$t_{in}-t_{out}$			
Winter	B	1.3	0.5	21.8	21.4	0.4	15.7	663.6	0.02
	C	2.5	0.8	22.2	19.3	2.9	181.6		0.27
	D	2.5	1.0	22.1	18.7	3.4	266.2		0.40
Summer	F	1.3	0.5	25.0	26.0	-1.0	39.1	344.4	0.11
	G	2.0	0.7	24.8	26.4	-1.6	87.7		0.25
	H	2.5	1.0	24.5	26.9	-2.4	188.0		0.55
	I	2.5	1.1	24.4	27.2	-2.8	241.2		0.70
	J	2.5	1.2	24.5	27.4	-2.9	272.5		0.79

kcal/h, 벽면대류열량 663.6 kcal/h로서 포집률은 0.27로 나타났다. 냉방시에도 급기속도 2.5 m/s에서 air-barrier가 형성되기 시작하며, 이때 포집률 0.55로 나타났다.

일반적으로 급기속도가 빠를수록 포집률이 점차 증가하지만, 에너지 절약적인 측면에서 PFU의 급기온도와 배기온도의 차이가 가장 큰 것이 포집률이 좋은 것이라고 할 수 있다.

또한, 둘레벽 및 냉방시 블라인드의 설치는 배기열량의 증가에 따른 포집률의 증가에 영향을 주는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 air-barrier 방식을 천장급기 공조방식에 적용하는 경우를 상정하고, 선행 연구결과를 기초로 실대실험을 실시하였다. 적절한 송풍량 설정을 통해 냉·난방시 실내 열환경을 평가하였으며, 본 연구에서 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) Air-barrier를 통해서 효과적인 열부하의 제거를 위해서는 PFU 시스템의 급기풍량 제어가 필요하며, 90 CMH/m에서 air-barrier의 형성이 시작되지만, 최적 풍량에 대해서는 추후 검토가 필요하다.

(2) 동일 급기풍량(90 CMH/m)으로 PFU를 가동하는 경우 급기슬릿의 폭을 줄여서 급기속도를 2.5 m/s으로 증가시키고, 둘레벽 및 블라인드를 설치하는 것이 air-barrier의 형성에 유리하다.

(3) PFU의 급기속도 2.5 m/s에서 난방시의 포집률은 0.27, 냉방시의 포집률은 0.55로 나타났으며, 둘레벽 및 냉방시 블라인드를 설치하는 경우 배기풍속 및 배기열량 증가에 따라 포집률이 증가하는 것으로 나타났다.

(4) PMV의 측정결과를 보면 PFU의 급기속도 2.5 m/s에서 난방시 PMV −0.36, 냉방시 PMV 0.32로서 쾌적조건을 만족하는 것으로 나타났다.

향후 3차원 CFD 수치 시뮬레이션을 통한 PFU 시스템의 최적 풍량 결정 및 일사 등의 다양한 외부 환경요소가 고려된 실물운전 실험을 통하여 최적 설계방안이 도출되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Kazumasa, O., Goro, S. and Toyohiro, N., 1997, Experimental study on thermal characteristics at a window with air flow (Part 1, Experimental analysis of window air flow and heat removal efficiency), Transactions of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No. 65, pp. 15-22.
2. Kenji, H. and Toro, F., 1998.12, Evaluation of perimeter-less HVAC system, Heating Pipe & Air Conditioning, Vol. 36, No. 13, pp. 47-51.
3. Kim, Y. K. and Yee, J. J., 2003, Evaluation of Thermal environment on air-barrier type perimeter-less system with underfloor air conditioning system, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 346-351.

4. ISO, 1984, ISO 7730, Moderate Thermal Environments-Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Condition for Thermal Comfort.
5. Takemasa, Y. and Togari, S., 1993, Airflow patterns near the windows with an air exhaust system, Proceedings of the Society of Heating, Air-conditioning and Sanitary Engineers of Japan, pp. 421-424.
6. Murakami, S., Kato, S., Kondo, Y. and Chikamoto, T., 1990, Numerical study on convective heat transfer at wall boundary (Part 1. Analysis on wall functions for heat flux at wall), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, pp. 479-480.