

# 저속치환 공조시스템의 특성에 대한 연구

이 계 철\*·김 동 규\*\*·김 경 구\*\*\*·권 영 필\*\*\*\*

## On the Characteristics of the Low Velocity Displacement Air-Conditioning System

Kye-Cheul Lee, Dong-Kyu Kim, Kyoung-Gu Kim and Young-Pil Kwon

**Key Words:** Low Velocity Displacement(저속치환), Air Conditioning System(공조시스템), Room Temperature Distribution(실내온도분포), Vertical Temperature Gradient(수직온도구배)

### Abstract

In the low velocity displacement air-conditioning system, the conditioned air is supplied from the diffuser placed on the wall near the floor and vented near the ceiling. This system has some advantages upon the traditional mixing system; the air quality near the people is improved by the displacing action of the system and the energy may be saved by neglecting the cooling or heating load for the upper space of the space above the people. This study is to examine the temperature and velocity distributions in the room and near the diffuser. It is found that the temperature is stratified uniformly all over the room space to show the displacing function of the system.

### 1. 서 론

1970년대의 에너지 위기 이후로 건물을 신축하거나 보수할 때 에너지 절약이 최우선적인 고려사항이 되고 있다. 이에 건물의 단열재는 하루가 다르게 개선되어 왔고, 실내 공기 환기 비율은 에너지 절약차원에서 감소되어 왔다. 그러나 과도한 단열재의 사용과 건물의 밀폐화 및 급기의 감소는 실내 오염물질의 농도를 증가시키고, 이로 인하여 많은 문제점들이 발생하고 있다.

Woods(1989)에 의하면 미국의 경우 3천만에서

7천만에 이르는 사람들이 실내 공기의 질에 관련된 문제를 갖고 있다고 되어있다. 또한 산업현장에서는 열적 불쾌감으로 인하여 생산성이 감소되는 등 막대한 경제적 손실이 발생하고 있는 실정이다. 특히 실내 거주 시간이 90% 이상인 사무실 근무자의 경우 실내 공기의 질은 질병 방지와 쾌적함 그리고 복지 증진 차원에서 필수적인 요소로 인식되고 있다.

쾌적한 공기의 질을 확보하고 에너지를 절약하기 위한 방법으로 치환형 공조시스템(Displacement Air-Conditioning System)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 방법은 1978년에 스칸디나비아에서 용접산업에 처음 적용된 이후 산업 설비 중심으로 사용이 날로 증가하고 있는 추세이다. 최근에는 치환형 공조시스템을 사무실의 환기 뿐 아니라 최상의 실내공기의 질 유지와 더불어 쾌적함이 요구되는 상업적 용도의 장소로까지 그 사용의 범위가 확대되고 있다. Svensson에 의하

\* 군장대학 자동차기계학부

\*\* (주)한국크린로드

\*\*\* 오산대학 기계과

\*\*\*\* 숭실대학교 기계공학과

면 1989년에 스칸디나비아 지역에서는 치환형 공조시스템의 시장점유율은 산업용의 경우에는 50%, 사무실의 경우에는 25%이라고 되어 있다. 국내의 경우에는 아직은 초보 단계이지만 공연장, 대형 음식점, 대강당 등 그 사용의 범위가 확대되고 있다. 그러나 국내의 저속치환 공조시스템의 설계·시공기술은 거의 전무한 형편이다.

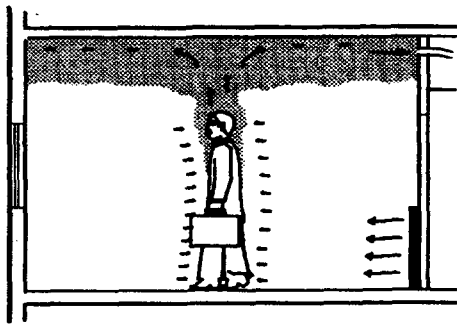
저속치환형 공조방식은 Fig.1에 보인 바와 같이 공기가 저속으로 바닥에 유입되고, 오염된 공기는 열원에 의하여 가열되어 자연대류에 의하여 상승한 후 천장에서 배출되므로 실내에서 새로운 공기와 오염된 공기가 혼합되는 기존의 혼합형 공조방식보다 깨끗한 공기를 유지한다. 또한 치환형 공조방식은 사람이 거주하는 영역만 냉각시키므로 실 전체를 냉각시키는 혼합형보다는 에너지 절약 측면에서 유리할 수 있다. 그러나 위에서

냉기가 내려오는 혼합형에 반하여 치환형은 밑에서 냉기가 들어오므로 온도차에 의한 불쾌감을 느낄 위험이 있다.

이에 본 연구에서는 열원의 크기(발열량)와 설치 위치 및 급기유량에 따른 실내 공간, 취출구인 디퓨저 및 열원체 주위의 온도 및 유속분포를 운전 조건에 따라 측정하여 검토함으로써 저속치환형 공조시스템의 특성을 파악하고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 실험

실험실 및 공조설비의 치수와 실내 열부하, 측정기구와 측정위치 등을 Fig.2a에 도시하였으며 요약하면 다음과 같다.



(a) 저속치환 공조방식

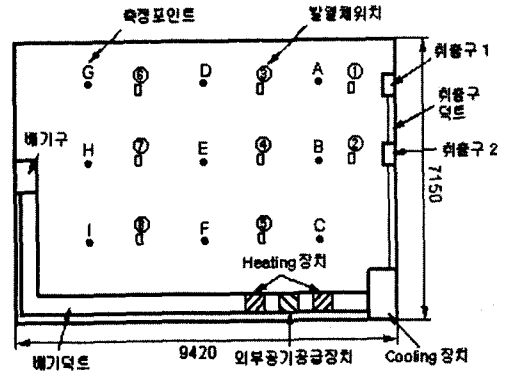
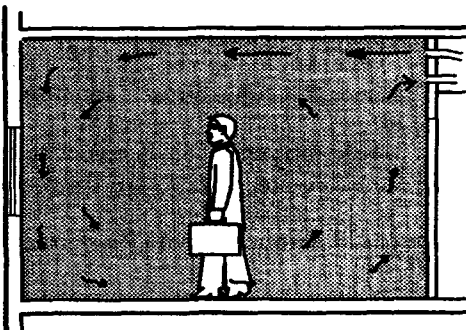


Fig. 2a 실험실 바닥면 개략도



(b) 기존의 혼합공조방식

Fig.1 저속치환 공조방식과 혼합형 공조방식의 특성 비교도

본 연구에서 사용한 실험 조건 및 설비는 다음과 같다.

- 실험실 크기는 7.15m×9.42m×3.1m(L×W×H)로서 콘크리트 벽과 이중 유리창(단열처리)으로 이루어졌다. 배기시스템은 외부공기 공급장치와 가열장치로 구성되고 배기디퓨저(exhaust diffuser)는 원형(직경 400 mm) 닥트로 되어 있으며 실 후면 중앙 천장부근에 설치되어 있다. 급기용 닥트(직경이 500mm)는 디퓨저와 댐퍼로 구성되어 있고 급기 디퓨저는 정사각형(545×545 mm)으로 직경 3mm인 다공판으로 구성되며, 개략도는 Fig.2b와 같다. 급기와 배기닥트 및 냉방장

치는 단열처리 되어 있다. 급기유량 변화는 댐퍼의 개도로 조절하고 개도에 따른 유량의 변화는 273 L/s(댐퍼 100%), 165 L/s(댐퍼 50%) 및 65 L/s(댐퍼 25%)이다. 내부 열부하는 1kw용 전열기를 최대 4개를 사용하여 가변적으로 하고 치위치는 ①~⑧로 표시하였다. 실내 온도분포 측정 위치는 A에서 I까지 9지점에서 측정하였으며 각 위치별로 바닥(20cm 높이)에서부터 천정(300cm 높이)까지 10점으로 나누어 측정하였다. 온도측정은 열전대(T-type)를 이용하였고, 기록은 열기록계(thermal recorder)를 사용하였다.

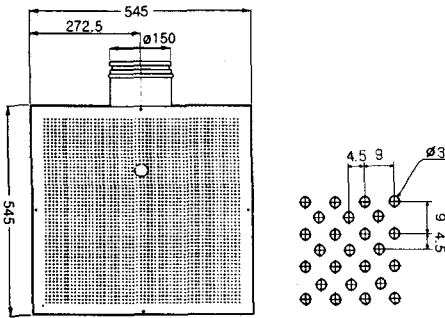


Fig. 2b 저속치환용 사각 디퓨저

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 취출구

디퓨저의 구멍으로부터 취출면에 수직거리에서 유속의 변화를 측정하는 것은 Fig.3과 같다. 출구 가까이에서는 취출 구멍의 분포에 따른 유속의 편차가 심하나 20cm 이상에서는 무시할 수 있으며 거리에 따른 유속 변화는 매우 완만하게 나타난다.

Fig.4는 디퓨저 전면에서 10cm 거리의 단면에서 유속분포를 측정하여 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 디퓨저의 세로방향(y 방향)과 가로방향(x 방향)에 따라서 속도 차이가 상당하다는 것을 알 수 있다. 즉, 본 디퓨저를 사용한 취출구에서 나오는 기류의 속도는 균일하지는 않고 상

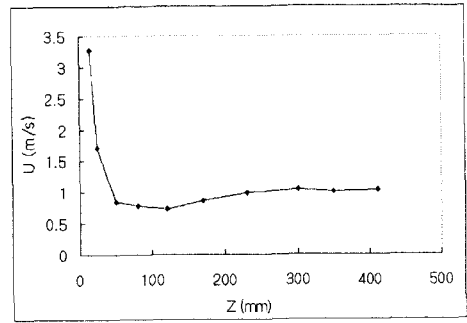


Fig. 3 취출구로부터의 거리에 따른 유속의 변화

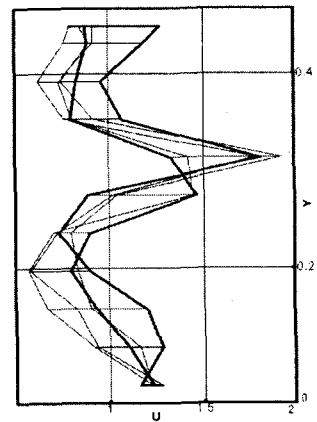


Fig. 4 취출기구 전면의 유속분포

당한 변화가 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig.5는 디퓨저에서 10cm 떨어진 위치부터 120cm까지 이동하면서 온도분포를 도시한 것이다. 그림에서 보듯이 디퓨저 크기 이상의 높이에서는 실내 온도(23.8℃)와 같은 온도를 유지함을 알 수 있었고, 같은 높이라 할지라도 취출구로부터 거리에 따라서 온도가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 온도가 각각 18, 19, 20℃인 등온점을 갖는 높이의 수평 거리에 따른 변화를 나타낸다. 디퓨저 전면으로부터의 거리가 멀어질수록 등온 곡선이 바닥으로 내려감을 알 수 있고, 온도가 낮을수록 등온층의 높이가 낮은 것을 알 수 있다.

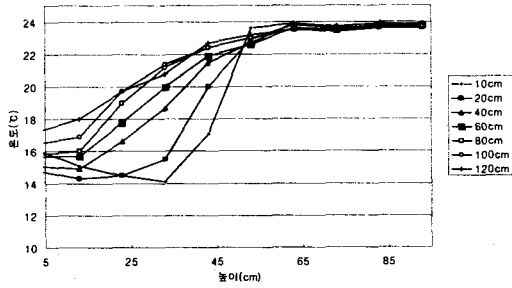


Fig. 5 디퓨저에서의 거리와 높이에 따른 온도 분포

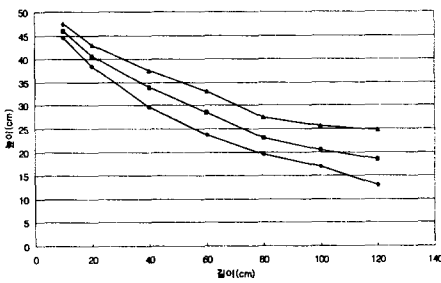


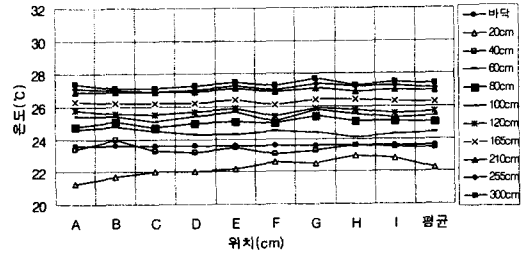
Fig. 6 취출구로부터 거리에 따른 등온높이 변화

### 3.2 실내공간

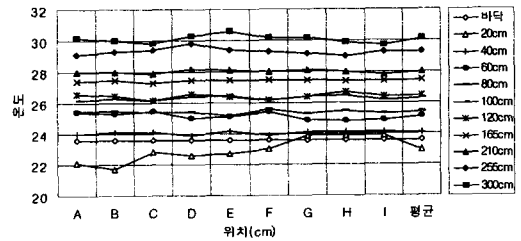
Fig.7은 실내의 열원체의 크기와 위치에 따른 온도분포 특성을 실험한 결과를 도시한 것이다. 급기 디퓨저 근처와 바닥 가까운 곳에서는 약간의 편차가 보이나 40cm 이상의 높이에서는 위치에 따른 편차가 1°C내로 거의 균일한 온도분포를 나타냄을 알 수 있다.

또한 발열체가 바닥에 있는 것보다는 바닥위 70cm 높이에 있는 경우가 배기(천장) 온도가 상승하며 바닥과 천장 사이의 온도 편차가 가장 큰 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 바닥이나 벽을 통한 열취득이 열원의 위치가 높을수록 크기 때문인 것으로 보인다.

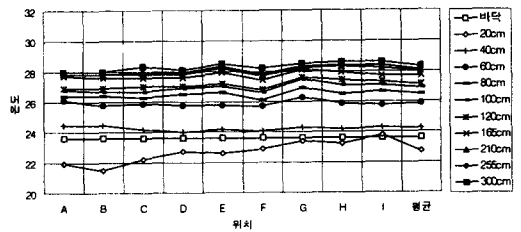
Fig.8은 급기온도가 12°C 내외로 일정한 경우 급기유량에 따른 실내의 수직방향 온도분포를 측정된 결과이다. 그림에서 보듯이 급기유량이 증가할수록 전체적으로 온도가 내려가는 것을 알 수 있다. 발열량이 4kw의 경우가 2kw보다 전체



a) 실내 중앙 바닥 (발열량 2kw, 댐퍼 50%)



b) 실내 중앙 90cm 높이 (발열량 2kw, 댐퍼 50%)

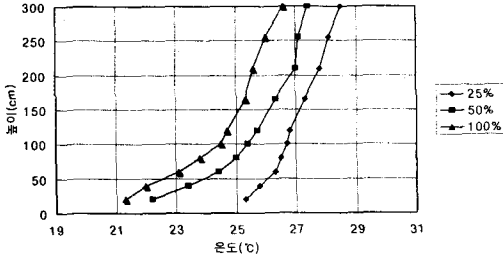


c) 실내 중앙 바닥 (발열량 4kw, 댐퍼 50%)

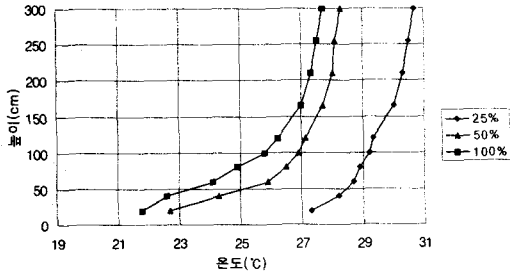
Fig. 7 발열체 위치에 따른 실내 온도분포 특성

적으로 온도가 상승하나 온도구배의 뚜렷한 차이는 나타나지 않는다. 이것은 실내의 내부 부하보다 벽이나 창을 통한 외부 부하가 지배적으로 작용하기 때문이다.

현재의 온도 구배는 다소 큰 것으로 보이며 급기온도를 높이면 온도 구배는 완만하여 질 것이다. 바닥면의 온도는 23.6°C로 거의 일정한 값을 유지하였기 때문에 급기온도의 상승은 전체적으로 벽과 바닥을 통한 부하를 낮추게 되어 온도차를 줄이는 효과를 가져온다.



a) 발열량 2kw



b) 발열량 4kw

Fig. 8 급기 유량에 따른 온도 분포 특성

바닥 온도가 상부 온도에 비하여 낮다는 것은 치환형 공조가 갖는 중요한 특징이라 할 수 있다. 즉, 재실자의 호흡선 위쪽은 온도가 높더라도 재실자의 위치에서는 쾌적한 온도를 유지할 수 있기 때문이다. 혼합형 공조의 경우 실의 설계온도가 배기온도와 같게 잡으나 치환형 공조의 경우는 배기온도를 혼합형에 비하여 높일 수 있다. 즉, 급기온도를 높여서 기기부하를 저감할 수 있다는 것이다. 이러한 효과는 천장이 높을수록 크게 되므로 천장이 높은 실의 재실자를 위한 공조의 경우 저속치환형의 사용으로 에너지 소비를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다.

바닥으로 공급된 급기가 열을 취득하여 위로 올라가는 것과 같이 오염된 공기를 위로 밀어 올리기 때문에 재실자 위치에서는 공기의 질을 훨씬 높게 유지할 수 있게 된다. 혼합형에 비하여 치환형이 갖는 확실한 장점은 공기의 질을 좋게 하는 것이라 할 수 있다.

그림 9는 냉방부하(2kw, 4kw)와 급기유량(25, 50, 100%) 및 발열체 위치에 따른 수직 온도분포

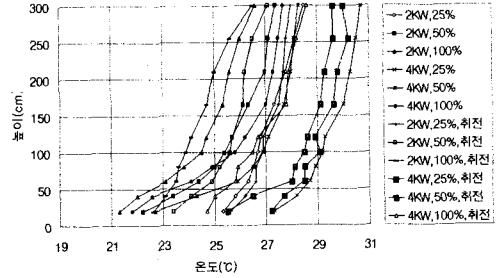


Fig. 9 냉방부하 특성에 따른 온도구배

를 표시한 것이다. 그림에서 보듯이 같은 높이라 할 지라도 냉방부하 조건에 따라서 최대 6°C에서 4.2°C 정도의 차이를 보이지만 50cm 이상의 높이부터 전반적인 수직온도구배 패턴은 유사함을 알 수 있다. 또한 발열량이 적을수록 실내 하부의 온도가 낮아지며 같은 발열량이라 하더라도 급기 유량이 많을수록 실내 하부의 온도가 낮아짐을 알 수 있다.

수직 온도 구배는 다음의 식으로 정의한다.

$$\Delta t = \frac{[t_e - t_r]}{h}$$

여기서,  $\Delta t$ 는 수직 온도구배,  $t_e$ 는 천정 부근 공기 온도(배기 온도, °C),  $t_r$ 는 바닥 근처 공기 온도(°C),  $h$ 는 바닥에서 천정까지의 높이이다.

실내 수직온도구배(vertical temperature gradient)는 냉방부하 조건에 따라서 달라지는데 본 실험 결과 0.86~2.11°C/m 사이에 있다. 온도구배는 발열량이 높을수록 크고, 발열체가 취출구 천면에 있는 것보다는 실내 중앙에 설치된 경우가 더 큰 것을 알 수 있다. 실내 하부면(바닥)과의 천정의 온도차는 냉방부하 조건에 따라서 2.4°C~5.9°C 정도이며 발열량이 많을수록, 급기 유량이 많을수록 온도차가 커지며 발열체가 급기구 근처에 있을수록 온도차가 작아진다. 또한 급기유량이 작을수록 배기온도(천장온도)가 상승하고 급배기 온도차가 커짐을 알 수 있다.

표 1 실내 높이에 따른 온도분포 특성

높이 (cm)	발열체 위치 실내 중앙						발열체 디퓨저 전면70cm					
	발열량 2kw		발열량 4kw		발열량 100%		발열량 2kw		발열량 4kw		발열량 100%	
	25%	50%	25%	50%	100%	25%	50%	100%	25%	50%	100%	
20	25.3	22.2	21.3	27.3	22.7	21.8	25.6	23.4	22.6	27.2	25.5	24.7
40	25.8	23.4	22	28.2	24.3	22.6	26.2	24.1	23.1	27.7	26.5	25
60	26.3	24.4	23.1	28.7	25.9	24.1	26.6	24.9	23.5	28.5	28	25.8
80	26.5	25	23.8	28.9	26.5	24.9	26.6	25.2	23.6	28.5	28.1	25.9
100	26.7	25.4	24.5	29.2	26.9	25.8	26.9	25.6	23.9	29.1	28.5	26.5
120	26.8	25.7	24.7	29.3	27.1	26.2	26.9	25.7	24.1	28.9	28.6	26.7
165	27.3	26.3	25.3	30	27.7	27	27.5	26.1	24.7	29.6	29.1	27.8
210	27.8	27	25.6	30.3	28	27.3	27.7	26.2	25	29.8	29.3	27.9
255	28.1	27.1	26	30.5	28.1	27.5	27.8	26.5	25.6	30.2	29.6	28.2
300	28.5	27.4	26.6	30.7	28.3	27.7	28	27.1	26.5	30	29.6	28.6
급기 온도	12	13.1	14	14	12.8	13	13.4	12.6	13.4	13.3	14.2	13.7
배기 온도	28	26.8	25.8	30	27.7	27.2	27.6	26.2	25.2	29.5	29.1	27.7
온도 구배	1.14	1.86	1.89	1.21	2	2.11	0.86	1.32	1.39	1	1.46	1.39

#### 4. 결론

본 연구에서는 바닥 벽면에서 급기하고 천장에서 배기하는 저속치환형 공조시스템에 대하여 실내 부하의 변화 및 급기 유량에 따른 실내온도 분포 특성과 디퓨저 주위의 유동 및 온도 특성을 실험하고 고찰하였다.

하부 온도가 상부 온도에 비하여 실 전체에 걸쳐 거의 균일하게 낮은 온도로 성층화 된 것을 확인하였으며 이것은 치환형 공조가 갖는 중요한 특징인 재실자의 호흡선 위쪽은 온도가 높더라도 재실자의 위치에서는 쾌적한 온도를 유지할 수 있음을 나타낸다. 이러한 효과는 천장이 높을수록 크게 되므로 천장이 높은 실의 재실자를 위한 공조의 경우 저속치환형의 사용으로 에너지소비를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. 바닥으로 공급된 급기가 열을 취득하여 위로 올라가는 것과 같이 오염된 공기를 위로 밀어 올리기 때문에 치환구역에 있는 재실자에게 공기의 질을 훨씬 높게 유지할 수 있게 된다.

#### 참고문헌

(1) Xiaoxiong Yuan, Ph. D. Qingyan Chen, Ph. D. Leon R. Clicksman, 1999, "A Critical Review of Displacement Ventilation".

ASHRAE Trans. : Research 4101(RP-949) pp. 78-90.

- (2) H. M. Mathisen, 1989, "Case studies of displacement ventilation in the public halls", ASHRAE Trans. Vol. 85, pp. 1018~1027.
- (3) A. K. Melikov and J. B. Nielsen, 1989, "Local thermal Discomfort due to draft and vertical temperature difference in rooms with displacement ventilation", ASHRAE Trans. Vol. 85, pp. 1050~1057.
- (4) M. Sandberg and C. Blomqvist, 1989, "Displacement ventilation systems in office rooms", ASHRAE Trans. Vol. 85, pp. 1041-1049.
- (5) Seppanen, O. A., 1989, "Comparison of Conventional Mixing And Displacement Air-conditioning and Ventilation system", ASHRAE Trans. Vol. 85, pp. 1028-1040.
- (6) Scaret, E. and Mathisen, H. M., 1989, "Ventilation Efficiency - A guide to Efficiency Ventilation", ASHRAE Trans. Vol. 89, Pt2B, pp. 253-262.
- (7) Baker, A. J. and Kelso R. M., 1990, "On Validation of computational fluid dynamics procedures for room air motion prediction", ASHRAE Trans. Vol. 96, pp. 760-774.
- (8) 조정식, 1999, "저속치환 환기시스템의 적용성과 고찰", 설비기술, pp. 106~111.
- (9) 정광섭, 한화택, 홍승재, 1998, "바닥취출 공조공간에서 급기온도 및 급기풍속이 환기효율에 미치는 영향", 공기조화냉동공학회, 제 10권 제5호, pp. 640~648.
- (10) 조동우, "공조취출방식에 따른 공기의 나이 및 환기효율 비교", 공기조화냉동공학회, 제 11권 제1호, pp. 117~124, 1999