대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집 pp. 0590 ~ 0595

09-S-106

천정형 정풍량 시스템에어컨의 적용높이에 따른 실내온열환경 특성

성 상 철, 김 혁 순, 진 심 원*, 오 명 도†

서울시립대학교 대학원 기계정보공학과, *LG전자 DAC 연구소 에어컨 그룹, † 서울시립대학교 기계정보공학과

Comparison of the PMV and ADPI according to Adapted Height of Ceiling-type System Air-conditioner in Large space

Sang-Chul Sung, Hyouk-Soon Kim, Sim-Won Chin*, Myung-Do Oh†

Graduate school of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul 130-743, Korea

**A/C Group of Digital Appliance Company Research Lab., LG Electronics Ltd., Changwon, 641-711, Korea*

† Department of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul, Seoul, 130-743, Korea

ABSTRACT : PMV and ADPI were numerically investigated in a large space of various ceiling height with air-conditioning systems of two type. The numerical results showed that it is small that the growth of cooling load according to ceiling height rise in a large space without windows. In case of system air-conditioner of duct type embedded in the ceiling, the air mixing effect in indoor is superior to a case installed 4way cassette type in it.

For controling thermal comfort at indoor, a system air-conditioner of duct type embedded in the ceiling is little influenced according to ceiling height rise in a large space considered.

Key Words : System air-conditioner(시스템에어컨), Predicted mean vote(열쾌적성), Air diffusion performance index(기류분포성능지표), Large space(중형공간)

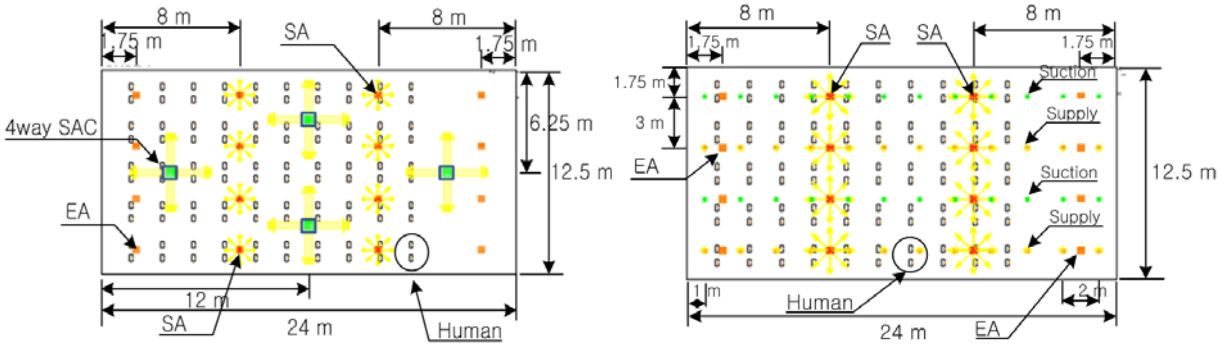
1. 서 론

현대는 생활수준의 향상 및 실내에서의 거주시간증가로 인해 실내 열쾌적도에 대한 관심이 증가하고 있다. 이를 위해 기존에는 건물의 냉·난방 설비로 중간기에 외기냉방이 가능하고, 설비유지 및 관리가 편리한 중앙공조방식이 많이 사용되어 왔다. 하지만 이 방식은 건물 내에 대형의 공조기 실을 필요로 하고 건물의 부분부하 시 개별적인 공조를 할 수 없어 에너지 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다. 이에 따라 최근에는 초기투자비 및 운영비가 많이 드는 중앙공조방식 대신 초기투자비 및 운전비가 작게 드는 개별공조방식의 적용이 늘고 있다.

개별공조방식 중의 하나인 시스템에어컨의 경우 2008년도 시장규모가 약 1조 3000억원으로 예상될 정도로 지속적으로 수요가 증가하고 있는 실정이다. 이로 인해 앞으로 이제까지 많이 적용되던 소형공간 뿐만 아니라 중대형 공간에도 중앙공조방식 대신 시스템에어컨 방식의 적용이 늘어 날 것으로 예상된다.

지금까지 시스템에어컨에 관한 연구는 주로 층고가 3m보다 작은 소형공간에서의 열쾌적성 및 공기질에 대한 연구가 대부분이었으며 천장형 정

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2210-2756; Fax: +82-2-2248-5110
E-mail address: mdoh@uos.ac.kr



(a) 4way cassette (b) duct type embedded in the ceiling

Fig. 2 Install locations of system air conditioner in the international conference room

풍량 시스템에어컨을 중대형 공간에 적용했을 때 그 변화에 대한 연구는 수행되지 않아왔다.[1]

따라서 본 연구에서는 서울시립대학교 내에 위치한 중형공간을 기본해석영역으로 수치해석방법을 이용하여 시스템에어컨의 적용높이에 따른 실내 온열환경특성을 예상온열감(predicted mean vote, 이하 PMV라 칭함)과 기류분포성능지표(air diffusion performance index, 이하 ADPI라 칭함)을 이용하여 평가하는 연구를 수행하였다.

2. 열쾌적성 평가지표

2.1 예상온열감

예상온열감(predicted mean vote, 이하 PMV라 칭함)은 인간의 온열환경에 대한 반응을 정량화시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저항치 등과 건구온도, 평균복사온도, 기류, 습도 등을 종합적으로 고려하여 인체가 느끼는 열쾌적성을 이론적으로 나타낸 것이다.[2] PMV는 식 (1)을 사용하여 계산되고 7단계로 온열감을 구분한다. ISO Standard 7730에서는 재실자를 만족시키는 쾌적범위를 -0.5 ~ 0.5로 규정하고 있다.

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \times [(M - W) - H - E_c - C_{res} - E_{res}] \quad (1)$$

여기서, M은 인체의 신진대사율, W는 외부로 행하는 일, H는 현열을 통한 열손실, E_c는 피부를 통한 증발 열전달, C_{res}는 호흡을 통한 대류열전달, E_{res}는 호흡을 통한 증발 열전달을 각각 나타낸다. 본 연구에서 PMV 계산시 사용된 인체의 신진대사량은 일반적인 정좌상태 1.2 met(69.84 W/m^2)을 적용하였고, 착의 상태는 여름철과 겨울철 평상복 차림으로 가정하여 각각 0.6 clo(0.093 m^{2}K/w) 1.0 clo(0.155 m^{2}K/w)를 사용하였다.

2.2 기류분포성능지표(ADPI)

ADPI는 재실영역에서의 국소적인 기류와 온도의 상태가 쾌적범위에 포함되는 비율을 나타낸 것으로서 식 (2)와 같이 정의되며 재실자의 열적 쾌적성과 관련된 지표이다.[3]

$$ADPI = \frac{V_S}{V_T} \times 100 \quad (2)$$

여기서, Vs는 기류속도가 0.35 m/s 이하이고 유효드래프트온도(effective draft temperature, 이하 EDT라 칭함)가 -1.5℃<ϕ<1.0℃의 범위에 속하는 체적이며, V_T는 전체 실내공간의 체적이다. 일반적으로 ADPI가 80%이상인 공간은 쾌적하다고 평가된다.

EDT는 식 (3)과 같이 정의된다. 이때, t_x는 임의의 지점에서의 건구온도이고, t_c는 실내설정온도로 본 연구에서는 27℃로 선정하였다. V_x는 임

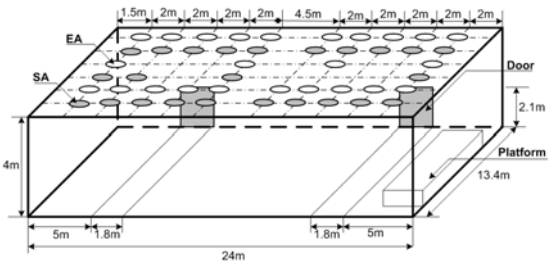


Fig. 1 Schematic design of the international conference room

의의 지점에서의 속도를 나타낸다.

$$\phi = (t_x - t_c) - 8(V_x - 0.15) \quad (3)$$

3. 연구 대상 및 수치해석 방법

3.1 연구대상

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 크기가 24.0 m(L) × 12.4 (m) × 4.0 m(H)인 서울시립대학교 내에 소재한 국제회의실을 기본 구조로 하여 천장높이가 3m에서 7m까지 1m 간격으로 변하는 공간을 대상으로, 공간상에 일정한 냉방부하를 공급할 때 높이에 따른 실내 열쾌적도 변화에 대한 연구를 수행하였다.

실내공간의 공조시스템으로 각각 4way cassette 시스템에어컨과 매립덕트형 시스템에어컨을 적용한 것으로 가정하였으며, Table 1에 적용한 공조시스템의 상세사양을 나타냈다.

해석공간에 적용한 시스템에어컨의 대수는 최대부하계산 프로그램인 RTS-SAREK을 이용하여 층고높이가 4m인 해석공간의 부하계산결과를 통해 Fig. 2와 같이 4way cassette 형의 경우 4대, 매립덕트형의 경우 2.5대를 적용하였다.

또한, 공간 내의 실내 공기질을 위해 전체 급기풍량이 4140 CMH인 환기시스템을 도입한 것으로 설정하였으며, 일반적으로 시스템에어컨과 환기시스템이 같이 적용될 경우 에너지 절약을 위해 환기시스템에 열교환기가 적용되는 상황을 고려하여 효율이 70%인 현열 열교환기가 환기시스템에 설치된 것으로 가정하였다.

3.2 수치해석 방법

국제회의실에서 시스템에어컨의 적용높이에 따른 열쾌적도를 예측하기 위하여 식 (4)에 표현된 Navier-Stokes 방정식을 사용하여 Table 2와 같이 6가지 경우에 대해서 CFD 계산을 수행하였다.

$$div(\rho V\Phi - \Gamma_{\phi,eff}\, grad\, \Phi) = S_\phi \quad (4)$$

여기서 ρ는 공기밀도(kg/㎥), $\Gamma_{\phi,eff}$ 는 유효확산계수(kg/m・s), U는 유속벡터(m/s), S는 방정식 특성에 기인한 생성항, ϕ는 각 방향의 속도, 에너지, 난류에너지, 난류소산에너지를 나타낸다. 이에 대한 자세한 내용은 참고문헌[4]에 기술되어 있다.

본 연구에서는 식(4)의 지배방정식을 풀기 위해 상용 CFD 프로그램인 STAR-CD를 사용하였다. 국제회의실 및 재실자 그리고 적용된 공조시스템은 약 1,200,000 ~ 2,200,000개의 비균일 격자로 모델링하였고, 난류모델은 High-Reynolds number k-ε model을 사용하였다. 계산알고리즘은 정상상태 SIMPLE 알고리즘을 사용하였으며, 수렴판정 조건은 연속 방정식, 운동량 방정식, 에너지 방정식, 난류운동에너지 방정식 및 난류운동에너지 소산율 방정식에서 유수(residual)의 합

Table 1 specifications of HVAC system in international conference room

4way cassette	flow rate(CMH)/unit	1020
	discharge angle(°)	45
	temperature of supply air	15
Duct type embedded in the ceiling	flow rate(CMH)/unit	2760
	discharge angle(°)	90
	temperature of supply air	20

Table 2. control variables

category	height		3m	4m	5m	6m	7m
4way	flowrate (CMH)	minus 20%	3264				
		default	4080				
		plus 20%	4896				
duct type embedded in ceiling	flowrate (CMH)	minus 20%	5520				
		default	6900				
		plus 20%	8280				

이 10^{-3} 이하로 설정하였다. 수치해석 시 국제회의실 내부의 재실인원은 100명으로 가정하였다. 벽에서의 열관류율과 기후조건은 건설교통부의 에너지 절약 설계기준 개정안 중 중부지역을 기준으로 하여 Table 3과 같이 설정하였으며 조명부하량의 경우 공조설비설계 시 학교에 적용되는 단위면적당 조명부하량을 기준으로 하였다.

4. 결과 및 고찰

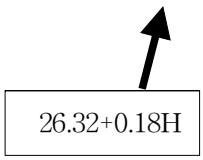
Table 3. Boundary conditions for calculation

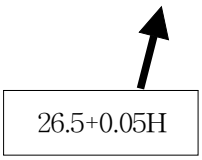
Category	Input data
Temperature of outdoor (℃)	summer : 31.2
U value ($W/m^2℃$)	exterior wall : 0.35 internal wall : 0.64 bottom, ceiling : 1.16
Metabolic rate	1.2 Met (58.2 W/m^2)
Load of electric lights (W/m^2)	20

4.1 전체영역과 재실영역의 평균온도

Fig. 3과 4는 4way 형과 매립덕트형 시스템에어컨 각각에 대하여 3가지 풍량을 대상으로 적용천장높이변화에 따른 실내공간의 전체영역과 재실영역의 평균온도와 각각의 데이터를 이용하여 커브피팅한 식을 나타낸 것이다.

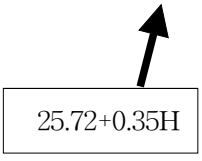
Fig. 3을 살펴보면 Default 풍량일 때를 기준으로 천장높이가 3m인 경우와 7m인 경우같이 전체 공간의 체적이 2배 이상 차이나는 상황에서도 4way형과 매립덕트형 이 설치된 공간의 전체 평균온도차이가 모두 1℃이하로 매우 작은 것을 알 수 있다. 이는 RTS-SAREK을 이용하여 천장높이에 따른 냉방부하량을 계산한 결과를 나타낸 Table 4에서 알 수 있는 것처럼 천장높이에 따른 냉방부하량의 증가가 거의 없기 때문이다. 이는 층고 높이 증가에 따라 증가하는 부하량은 벽면을 통해 들어오는 양 밖에 없는데 이 양이 해석대상과 같이 창문이 없는 공간에서는 전체 부하량에 미치는 영향이 매우 미미하기 때문인 것으

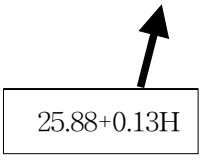




(a) 4way cassette (b) duct type embedded in the ceiling

Fig. 3 average temperature of total zone according to ceiling height





(a) 4way cassette (b) duct type embedded in the ceiling

Fig. 4 average temperature of occupied zone according to ceiling height

Table 4. Cooling load growth according to ceiling height

Ceiling height	3m	4m	5m	6m	7m
Sensible cooling load calculated with RTS-SAREK (W)	14170	14298	14427	14553	14680
Cooling load of outdoor air (W)	1763.5	1763.5	1763.5	1763.5	1763.5
Total cooling load (W)	15933.5	16061.5	16190.5	16316.5	16443.5
Relative percents of cooling load (%) (refer to height 3 m)	100	100.8	101.6	102.4	103.2

로 판단된다.

Fig. 3과 4에서 천장높이증가에 따른 평균온도 변화율을 나타내는 커브피팅 식의 기울기 부분을 비교해 보면 4way 형의 경우 전체평균온도 기울기와 재실평균온도 기울기가 0.17차이가 나는 반면 매립덕트형의 경우 0.08의 기울기 차를 나타내어 매립덕트 형의 경우가 4way 형 보다 전체영역과 재실영역의 온도차가 작은 것을 알 수 있다. 이는 매립덕트형이 4way형보다 실내로 공급하는 풍량이 약 3000 CMH정도 많이 공급하고 있고 토출되는 방향 또한 4way 형의 경우 45도 각도인 반면 매립덕트형의 경우는 90도로 토출시켜 기류도달거리가 매립덕트형이 4way형보다 더 길게 되어 매립덕트형이 4way 형보다 실내공기를 더 잘 혼합시키기 때문인 것으로 판단된다.

4.2 재실영역에서의 ADPI 비율

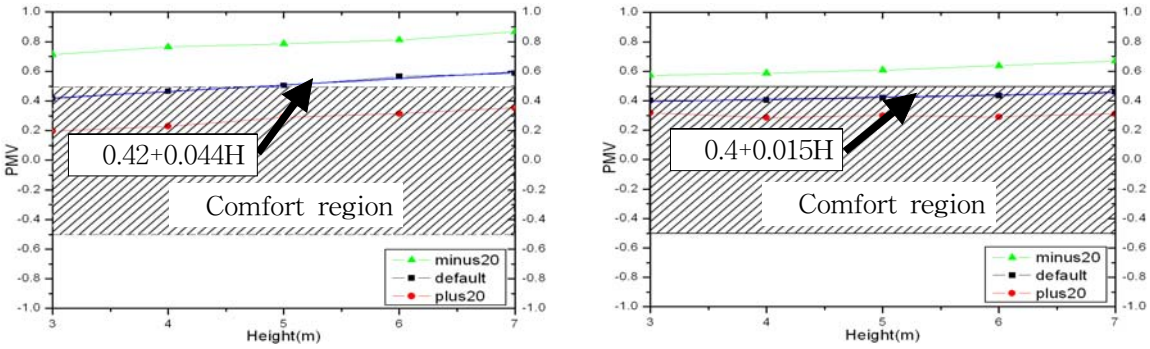
Fig. 5는 4way 형과 매립덕트형이 설치된 경우에 대하여 재실영역에서의 ADPI 비율을 나타낸 것이다. 4way 형과 매립덕트형 모두 동일 높이에서 풍량변화에 따른 ADPI 비율의 차이가 크지 않은 것을 알 수 있다. 또한 동일 풍량일 때 천장높이가 증가함에 따라 오히려 ADPI 비율이 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 ADPI를 판단하는데 사용되는 EDT는 식(3)에 나타낸 것처럼 온도와 속도의 항으로 표현되는데 온도는 4.1절에 나타냈던 것처럼 층고 높이 변화에 따라 크게 변하지 않는 반면에 속도의 경우에는 시스템에어컨 하단부에서 컸던 유속이 층고 높이상승에 따라 유속의 영향이 작아지기 때문인 것으로 판단된다. 이로부터 시스템에어컨이 설치된 경우 풍속이 실내 ADPI 비율에 미치는 영향이 온도보다 더 큰 것으로 생각된다.

4.3 PMV

Fig. 6은 4way 형과 매립덕트형이 설치된 해석공간의 재실영역에서 3가지 풍량에 대해 천장높이에 따른 실내 평균 PMV 변화를 나타낸 것이다. Fig. 6을 살펴보면 동일 풍량 일 때 4way 형과 매립덕트형 모두 적용천장높이 변화에 따른 열쾌적도 변화량이 0.1 ~ 0.2 사이로 시스템에어컨이 적용되는 천장높이가 열쾌적도에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 그 이유는 4.1절에

(a) 4way cassette (b) duct type embedded in the ceiling

Fig. 5 ADPI of occupied zone according to ceiling height



(a) 4way cassette (b) duct type embedded in the ceiling

Fig. 6 Average PMV of occupied zone according to ceiling height

서 언급했던 것처럼 천장높이 변화에 따른 부하 증가량이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

풍량이 Default인 경우를 기준으로 4way 형과 매립덕트형이 설치된 공간에서 설치 높이가 실내 온열환경에 미치는 영향을 비교해 보면 4way 형의 경우 높이에 따른 PMV 변화율이 0.044로 매립덕트형이 0.015인 경우보다 약 3배정도 커 실내온열환경에 있어서 매립덕트형이 4way 형보다 천장높이 변화에 따른 영향을 더 작게 받는 것으로 판단된다.

5. 결론

서울시립대학교 내에 위치한 중형공간을 기본 해석영역으로 수치해석방법을 이용하여 시스템에어컨의 적용높이에 따른 실내 온열환경특성을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 해석대상과 같이 창문이 없는 구조인 경우 층고높이증가가 전체 냉방부하에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 그 이유는 층고 높이가 증가함에 따라 증가되는 부하량은 벽면을 통해 유입되는 부하량 밖에 없는데 그 양이 미미하기 때문이다.

(2) 4way 형보다 매립덕트형을 설치한 경우에 전체영역과 재실영역에서의 평균온도차가 작은 것으로 나타났다. 이는 매립덕트형이 4way형보다 실내로 공급하는 풍량이 약 3000 CMH정도 많이 공급하고 토출되는 방향 또한 4way 형의 경우 45도 각도인 반면 매립덕트형의 경우는 90도로 토출시켜 기류도달거리가 매립덕트형이 4way형보다 더 길게 되어 매립덕트형이 4way 형보다 실내공기를 더 잘 혼합시키기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 층고높이 변화에 따른 평균 PMV값의 변화량은 4-way 형의 경우 높이에 따라 0.044의 비율로 변하고 매립덕트형의 경우 0.015의 변화율을 보여 실내 온열환경제어 시 매립덕트형이 4way 형보다 층고높이증가에 따른 영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Noh, K. C., Jae-Soo Jang, 2006, Study on Thermal Comfort and Indoor Air Quality in the Classroom with System Air-conditioner and Ventilation System for Cooling Loads, Journal of KSME, Vol, 30, No. 1, pp. 57-66
2. Fanger, P. O., 1970, Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering, Danish Technical press, Copenhagen, Denmark.
3. ASHRAE Standard 113-1990, "Method of Testing for Room Air Diffusion", ASHRAE, Atlanta, Georgia.
4. Noh, K. C., Oh, M. D., 2005, Comparison of Ventilation Performance With Variations of Indoor Momentum Source, Proceedings of the KSME Autumn Annual Conference, pp. 425-430