

학교 교실의 천장형 에어컨 토출각도에 따른 온열환경 해석

안철린, 김동규*, 금종수**, 박희욱***, 정용현†

(부산시 교육청, *GE Engineering, **부경대학교, ***동명대학, †부경대학교 환경시스템공학부)

Thermal Environment Analysis by the Diffusion Direction with Ceiling Type Air Conditioner of the Classroom

Chul-Lin AHN, Dong-Gyue KIM, Jong-Soo KUM, Hee-Ouk PARK, Yong-Hyun CHUNG†

Busan metropolitan city office of education, *Global Environmental Engineering,

** Pukyung National University, ***TongMyong College,

† Division of Environmental system Engineering, Pukyung National University

(Received February 25, 2005 / Accepted March 25, 2005)

Abstract

It is necessary to develop new air-conditioning method which can be satisfied individual separated space and request of occupants. The indoor thermal environment and flow field are investigated both experimentally and numerically. This study concentrated on analysis of indoor thermal environment by diffusion direction of ceiling type air conditioner of the classroom. The velocity and temperature distribution of air in the room calculated by 3-dimensional method, which include the effect of insulation of the building and outdoor state.

This analysis shows that optimum diffusion direction is 30° to increase thermal comfort in winter and optimum diffusion direction is 15° to increase thermal comfort in summer.

Key words : Diffusion direction, Ceiling type air conditioner, Thermal environment

I. 서 론

학교건물에 있어서 쾌적성의 향상은 학생들의

학습능력과 교사들의 업무능률을 증대시킬 수 있는 중요한 요소로서 학교 건축시 우선적으로 고려되어야 한다.

학교 교실의 쾌적성은 온도, 습도, 기류속도,

† Corresponding author : 051-620-6443, chungyh@pknu.ac.kr

조명등과 같은 물리적인 요소와 학생들이 수행하는 작업종류, 착의량, 대사량 등 감성적인 영향에 의해 쾌적도를 다르게 느낄 수 있다. 그러나 물리적인 환경은 학습자라는 주체의 해석을 거쳐 감성적·심리적인 조건으로 전환되기 때문에 교육환경에 있어서 물리적인 요소는 매우 중요시 되어야 한다(Kum, 1988).

최근 ‘학교보건법’ 개정에 따라 교실의 환경위생기준이 제정되어 학교건물에서도 냉·난방시설을 기본적으로 갖추도록 하고 있으며, 히트펌프 기술의 발전에 따라 한대의 실외기에 복수의 실내 유닛을 접속할 수 있는 멀티방식이 개발되면서 2002년도부터 기존 또는 신축학교 건물에 천장형 공조시스템이 급속히 보급되고 있는 추세이다(Park, 1999).

그러나 학교건물 공간의 활용성, 유지관리의 편리성, 개별제어의 필요성에 따라 바닥에 설치하던 실내기가 천장 매입형으로 전환되고 있으나(Chung, 2000), 천장형의 경우 토출기류가 학생들의 머리 부분에 직접 도달하게 되어 열적 불쾌감을 느낄 수 있으므로 실내 공간의 쾌적 영역을 증가시키기 위한 적정 풍량 및 토출각도에 대한 검토가 이루어져야 하나, 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 학교 교실의 온열환경개선을 위하여 설치되는 공조시스템으로써 천장 사방토출 에어컨을 적용하게 될 경우를 중심으로 실내 열복사에 의한 영향과 외기조건에 따른 벽체전열 및 일사의 영향을 고려한 시뮬레이션을 수행하여, 천장형 에어컨의 토출각도 15°, 30°, 45°, 60° 에 대한 온도 및 기류 분포를 조사하였다.

그리고 온열환경의 만족도를 평가하기 위한 평면 및 단면상의 유효온도와 기류속도를 분석하고, ASHRAE, ISO 7730의 지침에 따른 유효드래프트온도(EDT)에 대해 쾌적도를 예측함으로써, 동절기와 하절기에 적절한 천장형 에어컨의 토출각도를 제시하고자 한다.

II. 수치해석

1. 프로그램의 개요

본 프로그램은 주로 실내의 비정상적인 열환경을 평가하는 것을 목적으로 개발되었다(Onishi, 1988, 1995, 1998). 그리고 가장 큰 특징은 실내 환경에 대하여 정상계산 뿐만 아니라 기류나 각 벽면의 방사 및 벽체내의 열전도를 고려하여 외기조건과 건물조건을 입력함으로써 실내의 비정상적인 열환경을 예측하고자 하는 것이다.

전체 계산은 열평형과 물질평형을 고려하여 진행하였다. 본 프로그램은 Simple 알고리즘(음해법)을 채용하고 있으며, TDMA(선순법)으로 기류속도 (u, v, w)를 계산하고 온도, 압력 등을 계산하였다. 또한 전반적인 계산방법은 Partankar의 열전달 및 유체유동수치해법을 따르고, 난류모델은 Launder등의 표준 $k-\epsilon$ 모델을 활용하여, Staggered Grid를 채용함으로써 정상, 비정상 계산이 가능하도록 하였다.

2. 기초이론

실내의 기류장을 대상으로 하는 해석에서는 속도가 최대가 될 경우라도 수 m/s이며, 온도는 실온 0 ~ 40°C 정도를 상정하게 된다. 따라서 기초식은 밀도에 관하여 압력의 영향을 무시할 수 있는 비압축성 흐름으로 예상하는 것이 일반적이며, 온도에 의한 밀도 변화는 부력항만 고려한 Boussinesq 근사를 적용하는 것이 가능하다. 또한 실내는 벽면 부근을 제외하고 난류로 예상하여 해석하였다.

본 해석에서 사용된 기초방정식은 다음과 같다.

연속의 식

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

운동량 수송 방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + F_i \right\}$$

스칼라양 Ψ 의 수송 방정식

$$\frac{\partial(\rho \Psi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \Psi)}{\partial x_j}$$

$$= -\frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\Gamma^\Psi + \Gamma_t^\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial x_j} \right\} + S_\Psi \quad (3)$$

k의 수송 방정식

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} \quad (4)$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G + B - \rho \varepsilon$$

ε 의 수송 방정식

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \varepsilon)}{\partial x_j}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right\}$$

$$+ C_1 \frac{\varepsilon}{k} (G + B) - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

이상의 식에 나타났던 C_D , C_1 , C_2 , σ_k , σ_ε 은 모두 $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수를 활용하며, Launder, Spalding에 의하고 추천되고 있는 값을 <표 1>에 나타냈다.

<표 1> 경험정수 $k-\varepsilon$ 모델 Pr수

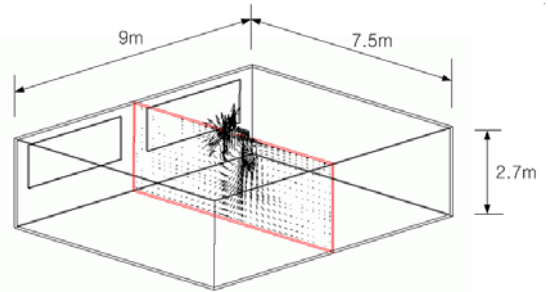
C_D	C_1	C_2	σ_ε	σ_k	σ_t
1.44	1.92	0.09	1.0	1.3	0.7

3. 수치해석의 수행

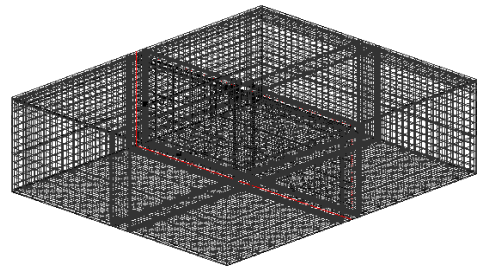
[그림 1]과 [그림 2]는 각각 계산의 대상이 되

는 학교 교실의 형상과 계산격자의 구성을 나타낸 것이다.

계산은 천장형 에어컨이 학교 교실의 중앙에 설치되어있는 상태를 대상으로 수행하였으며, 오전 9시에 가동하여 30분이 경과하는 동안의 재실자의 호흡선에 해당하는 바닥에서 1.1m 높이의 온도를 예측하여 결과를 비교하였다.



[그림 1] 수치해석의 모델



[그림 2] 계산 격자 형성

천장형 에어컨의 최적 토출각도를 도출하기 위하여 여러 가지 조건을 선정하였다. 각 케이스의 취출각은 15°, 30°, 45°, 60°로 하였으며, 풍량은 현재 학교 건물에 설치된 천장형 에어컨 토출구의 풍량을 측정하여 평균값에 해당하는 504 m³/h를 입력하였다. [그림 3]은 계산의 대상이 되는 천장형 에어컨의 형상을 나타낸 것이다. [그림 4]와 <표 2>는 각 토출구의 풍향과 풍속데이터를 나타낸 것이다.

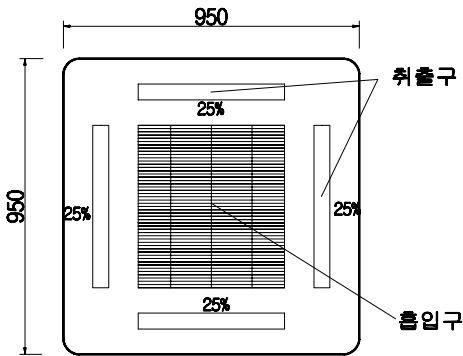
그리고 외기조건으로는 부산지방의 동절기 조건을 활용하였으며 건물의 벽체조건을 각각 입력하

였다. 전반적인 계산의 개요는 다음과 같다.

- ◎ 표준 k-ε 난류 모델
- ◎ 외기온도 : 부산지역 기상 데이터
- ◎ 위치 : 부산 위도 35.13도 경도 129.1도
- ◎ 계산시간 : 평년기온 1월21일 9시 ~ 10시
- ◎ 계산간격 : 1sec
- ◎ 수속판정 : 기류 0.1%, 온도 0.01℃
- ◎ 초기온도 : 동절기 10℃ 하절기 30℃
- ◎ 취출온도 : 동절기 30℃ 하절기 18℃
- ◎ 일사차폐계수 : 0.7
- ◎ 벽면일사흡수율 : 1.0
- ◎ 인접실온도는 외기온도와 평균실온의 평균
- ◎ 토출각 : 15°, 30°, 45°, 60°
- ◎ 토출풍량 : 504 m³/h

<표 2> 토출구 풍속데이터

토출각도	기류속도	z 방향	x · y 방향
60°	4.86	4.21	2.43
45°	4.69	3.32	3.32
30°	4.86	2.43	4.21
15°	5.42	1.40	5.23



[그림 3] 천장형 에어컨의 형상

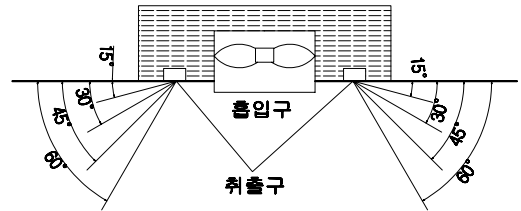
4. 거주영역의 쾌적도

거주영역의 드래프트를 평가하기 위해서는 EDT(유효드래프트 온도)를 활용하였다. PMV는 쾌적환경을 나타내기 위한 쾌적 방정식에 의거하

여 도출되는 값으로 쾌적 상태 이외의 환경에 확장 적용시키려고 하는 지표이다. EDT는 ASHRAE에서 드래프트의 지침으로 정의하고 있는 것으로 다음의 식으로 계산한다.

$$EDT = (t_x - t_m) - 0.039(200v_x - 30)$$

여기서 t_x 와 t_m 은 각각 계산하고자 하는 지점의 온도와 실내의 평균온도를 나타내며, v_x 는 계산하고자 하는 지점의 기류속도이다. EDT가 -1.5에서 +1℃의 영역에 있으며, 기류속도가 0.35m/s 이내 일 때, 거주자의 대부분이 쾌적한 것으로 평가하고 있다.

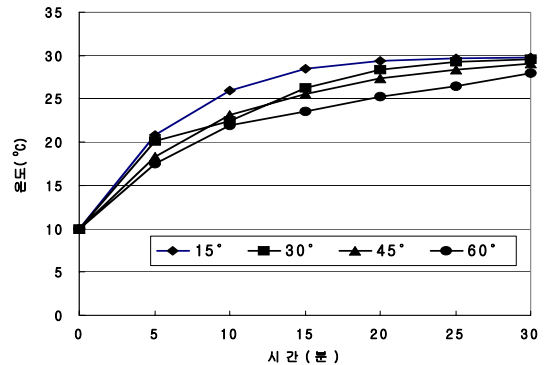


[그림 4] 천정형 에어컨 토출각도

III. 결과

1. 동절기에 대한 해석

[그림 5]는 동절기 천장형 에어컨의 가동 후 호흡선 1.1m 높이의 실내온도 변화를 나타낸 것이다.

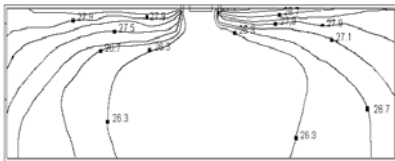


[그림 5] 동절기 실내 온도변화

토출각도 15°의 경우 10분경과 후 실내온도가 가장 높은 것으로 나타났으며 토출각도 60°의 경우에는 30분이 경과한 시점에서는 실내온도가 다른 설정각도와 유사한 값을 나타내고 있으나 10분이 경과한 시점에서는 다른 토출각도보다 낮은 값을 나타내는 것으로 나타났다. [그림 6]과 [그림 7]은 동절기 천장형 에어컨의 가동 후 10분이 경과한 시점에서의 복도와 실외를 좌우로 하는 XY평면에서의 수직온도분포와 1.1m높이의 수평면 온도분포를 나타낸 것이다. 토출각도가 15°, 30°, 45°인 경우에는 재실공간의 온도가 균일한 것으로 나타났으나 60°의 경우에는 실내공간의 온도분포가 상당히 불균일한 것으로 나타났다.



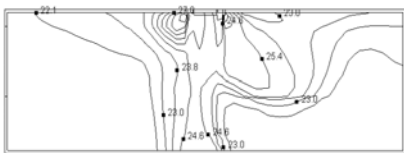
(a) 토출각도 $\theta=15^\circ$



(b) 토출각도 $\theta=30^\circ$

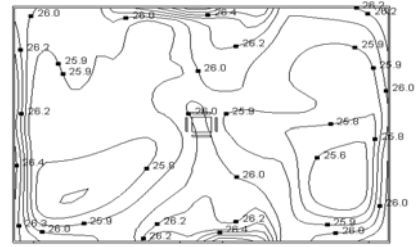


(c) 토출각도 $\theta=45^\circ$

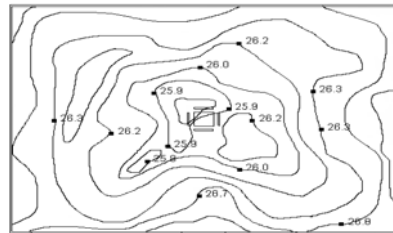


(d) 토출각도 $\theta=60^\circ$

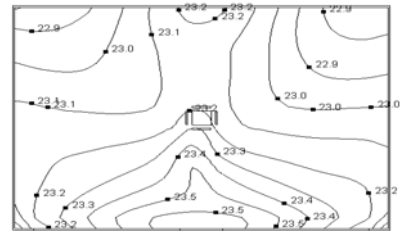
[그림 6] 동절기 수직온도분포



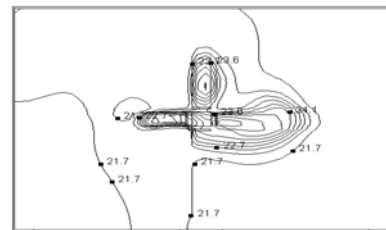
(a) 토출각도 $\theta=15^\circ$



(b) 토출각도 $\theta=30^\circ$



(c) 토출각도 $\theta=45^\circ$

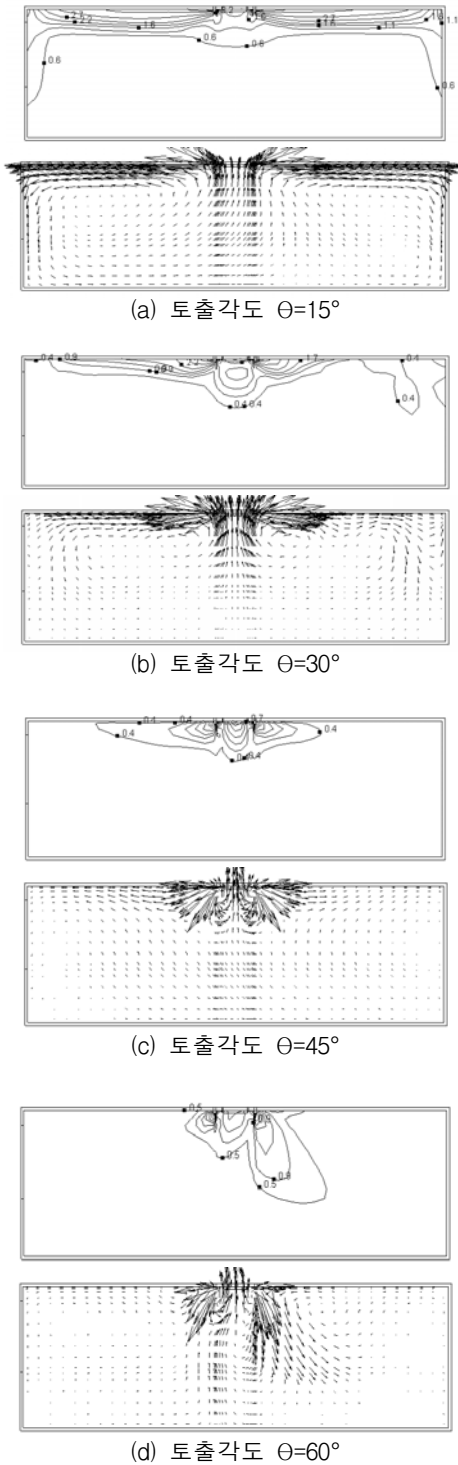


(d) 토출각도 $\theta=60^\circ$

[그림 7] 동절기 수평면 온도분포

또한 토출각도가 15° 일 경우에는 거주공간의 수평면 온도분포보다는 수직면 온도분포에서 상하 온도차가 상당히 발생되는 것으로 판단되어 재실자에게 불쾌감을 줄 가능성이 있는 것으로 나타났다.

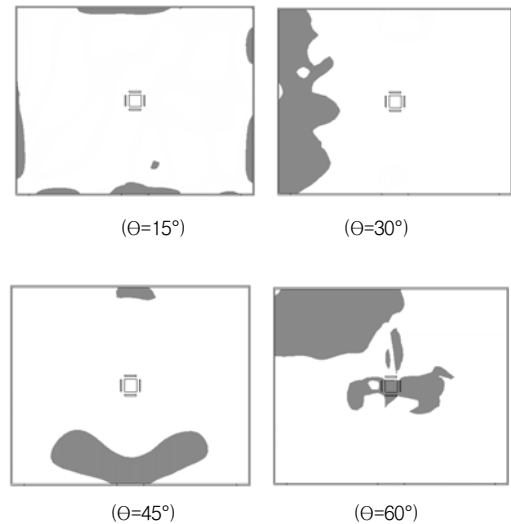
[그림 8]은 동절기 천장형 에어컨의 가동 후 10



[그림 8] 동절기 수직면 기류분포

분이 경과한 시점에서 복도와 실외를 좌우로하는 XY평면에서의 기류분포와 기류방향을 나타낸 것이다. 15° , 30° 의 토출각도에서는 천장 면에서 확산되어 실내에 기류가 분포하게 되므로 전체적인 기류의 분포가 호흡선인 1.1m 높이에서는 균일하게 나타나지만, 토출각도 45° 에서는 일부 공기가 토출 직후 흡입구로 배출되는 현상을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 토출각도 60° 에서는 상당한량의 토출 공기가 흡입구로 배출되는 현상을 보이므로 실내온도가 다른 토출각도의 조건보다 느리게 상승하는 원인이 되는 것을 예측할 수 있다.

그리고 기류분포도 불균일하며 재실자의 호흡선에 해당하는 바닥에서 1.1m에서 천장형 에어컨의 수직 아래에 해당하는 영역은 상당한 드래프트를 느낄 것으로 예상되었다. [그림 9]는 재실자 호흡선 1.1m 높이에서의 유효드래프트 온도를 나타낸 것이다. 60° 에서는 기류해석의 결과에서 예측되는 바와 같이 토출구의 하부에서 드래프트를 크게 느끼는 것으로 나타났으며, 30° 와 45° 에서는 토출구의 주기류가 도달하는 영역에서 드래프트 영역이 발생하지만 전체적인 기류속도가 크지 않으므로 그 영향은 크지 않을 것으로 생각된다.

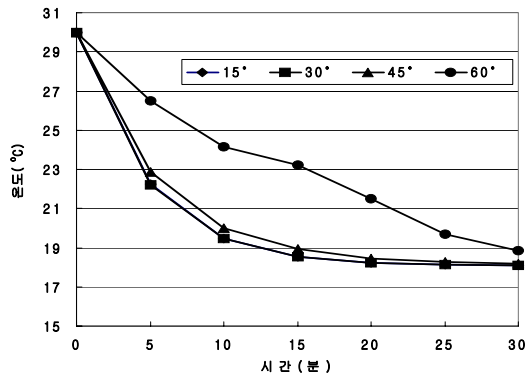


[그림 9] 동절기 불쾌영역분포(EDT)

그리고 토출각도 15°에서는 기류가 벽면을 따라서 형성되므로 드래프트영역이 벽면에 가까이 형성되어 실제 재실자에게는 큰 영향을 주지 않을 것으로 예상된다.

2. 하절기에 대한 해석

[그림 10]은 하절기 천장형 에어컨의 가동 후 호흡선 1.1m 높이의 실내온도변화를 나타낸 것이다. 토출각도 15°의 경우 10분경과 후 실내온도가 가장 낮은 것으로 나타났으나, 토출각도 30°와는 큰 차이를 보이지 않으며 거의 동일한 것으로 나타났다. 토출각도 60°의 경우에는 30분이 경과한 시점에서는 실내온도가 다른 설정각도와 유사한 값을 나타내고 있으나 10분이 경과한 시점에서는 다른 토출각도보다 상당히 높은 값을 나타내는 것으로 나타났다.



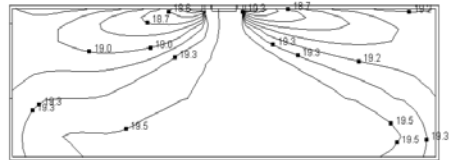
[그림 10] 하절기 실내 온도변화

[그림 11]과 [그림 12]는 하절기 천장형 에어컨의 가동 후 10분이 경과한 시점에서의 복도와 실외를 좌우로 하는 X·Y평면에서의 수직온도분포와 바닥에서 1.1m높이의 수평면 온도분포를 나타낸 것이다. 토출각도가 15°인 경우에는 재실공간의 온도가 균일한 것으로 나타났으나 토출각도 30°, 45°의 경우에는 실내공간온도가 일부 불균일한 형태를 보이며, 60°의 경우에는 실내공간의 온도분포가 상당히 불균일한 것으로 나타났다. 또한 토출각도가 15°일 경우에는 동절기의 운전조

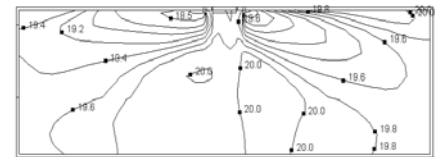
건과는 달리 거주공간의 수평면 온도분포와 수직면 온도분포에서 상하온도차가 가장 적게 발생하는 것으로 나타났으며, 호흡선 1.1m높이에서 토출각도 15°와 거의 유사한 평균온도변화를 보이는 토출각도 30°에서는 수직면온도가 토출각도 15°의 경우보다 불균일한 것으로 나타났다.



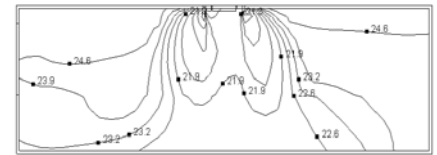
(a) 토출각도 $\Theta=15^\circ$



(b) 토출각도 $\Theta=30^\circ$



(c) 토출각도 $\Theta=45^\circ$

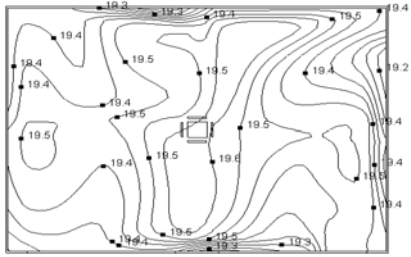


(d) 토출각도 $\Theta=60^\circ$

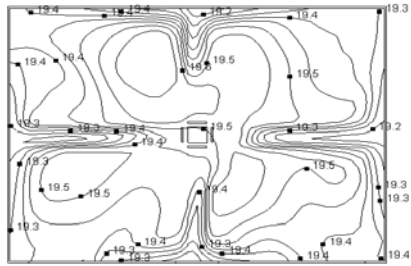
[그림 11] 하절기 수직면온도분포

[그림 13]은 하절기 천장형 에어컨의 가동 후 10분이 경과한 시점에서 복도와 실외를 좌우로 하는 X·Y평면에서의 기류분포와 기류방향을 나타낸 것이다. 15°의 토출각도에서는 천장면에서 확산되어 실내에 기류가 분포하게 되므로 전체적인 기류의 분포가 호흡선인 1.1m 높이에서는 균일하게 나타나지만 토출각도 30°, 45°에서는 냉기류

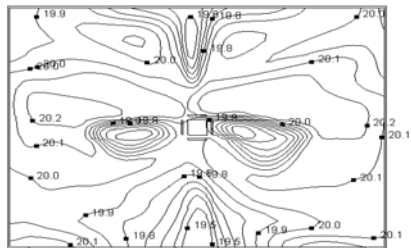
의 밀도차에 의해 재실공간까지 토출구의 직접적인 기류가 도달하여 불균일한 분포를 보인다. 그리고 토출각도 60°에서는 동절기 해석결과와 같이 상당한 량의 토출 공기가 흡입구로 배출되는 현상을



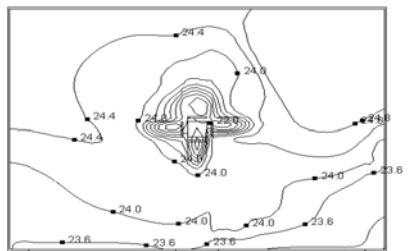
(a) 토출각도 $\theta=15^\circ$



(b) 토출각도 $\theta=30^\circ$

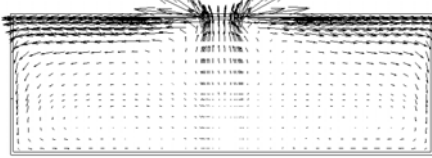
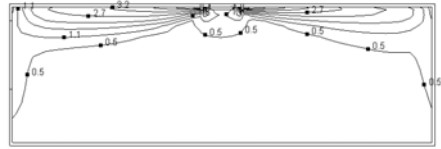


(c) 토출각도 $\theta=45^\circ$

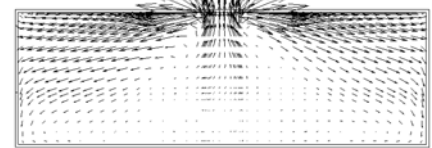
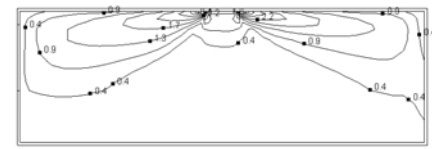


(d) 토출각도 $\theta=60^\circ$

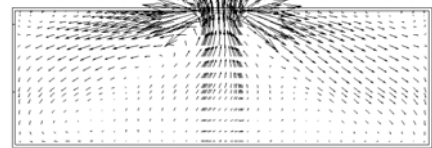
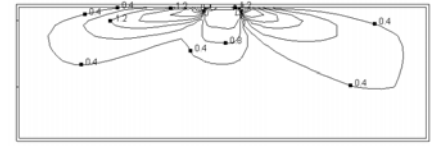
[그림 12] 하절기 수평면 온도분포



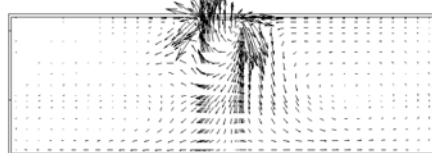
(a) 토출각도 $\theta=15^\circ$



(b) 토출각도 $\theta=30^\circ$



(c) 토출각도 $\theta=45^\circ$



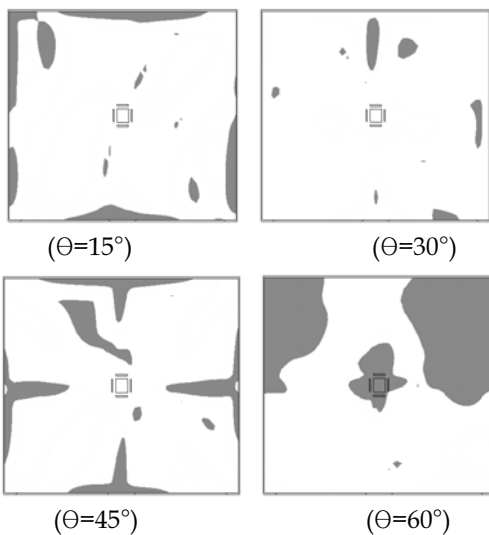
(d) 토출각도 $\theta=60^\circ$

[그림 13] 하절기 수직면 기류분포

보이므로 실내온도가 다른 토출각도의 조건보다 느리게 하강하는 원인이 되는 것을 예측할 수 있다.

그리고 기류분포도 불균일하며 재실자 호흡선 1.1m에서의 천장형 에어컨의 수직 아래에 해당하는 영역은 상당한 드래프트를 느낄 것으로 생각된다.

[그림 14]는 하절기 천장형 에어컨의 가동후 10분이 경과한 시점에 재실자 호흡선 1.1m 높이에서의 유효드래프트 온도를 나타낸 것이다. 60°에서는 기류해석의 결과에서 예측되는 바와 같이 토출구의 하부에서 드래프트를 크게 느끼는 것으로 나타났으며, 30°와 45°에서는 토출구의 주기류가 도달하는 영역에서 드래프트 영역이 발생하며 기류속도도 0.25m/s 이상으로 예측되므로 천장형 에어컨의 가동에 따른 기류의 발생으로 넓은 영역에서 약한 드래프트를 발생시킬 것으로 판단된다. 그리고 토출각도 15°에서는 기류가 벽면을 따라서 형성되므로 드래프트 영역이 벽면에 가까이 형성되어 실제 재실자에게는 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다.



[그림 14] 하절기 불쾌영역분포(EDT)

IV. 결 론

본 연구에서는 학교 교실의 천장 사방토출 공조시스템에서 토출각도에 따른 온열환경을 비교·평가하기 위해서 수치해석을 수행하고, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1) 동절기 난방시에는 토출각도 15°와 30°에서 실내온도분포가 균일하며 호흡선 1.1m 높이에서의 온도상승이 크므로 난방에 가장 효과적인 토출각이라 할 수 있으나, 토출각도 15°의 경우에는 상하온도차가 크게 발생하므로 동절기 천장형 에어컨의 최적 토출각도는 30°가 적절한 것으로 조사되었다.

2) 하절기 냉방시에는 토출각도 15°와 30°에서 호흡선 1.1m 높이의 평균온도가 거의 동일하게 빠른속도로 낮아지지만, 토출각도 30°의 경우에는 온도분포와 기류분포를 분석한 결과, 주기류가 재실자에 영향을 줄 수 있어 드래프트의 발생이 예측된다. 따라서 하절기 천장형 에어컨의 최적토출각도는 15°가 적절한 것으로 조사되었다.

3) 동절기와 하절기에서 토출각도 60°의 경우에는 토출된 기류가 흡입구의 압력에 의해 토출 직후 배출되는 현상이 나타나므로 냉난방의 설정 온도에 도달하는 시간이 상대적으로 길어질 것으로 생각되며, 천장형 에어컨의 아래 부분에서는 상당히 많은 드래프트 영역이 발생되었다.

참고 문헌

ASHRAE, "Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy", ANSI/ASHRAE Standard 55, 1992.
 Chung, K. S., "A study on the design prototype Development of Under floor Air-Conditioning System for Improving Indoor Environment", SAREK 12(5), pp.

- 439~447, 2000.
- ISO 7730, "Moderate Thermal Environmental Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of Conditions for Thermal Comfort", 1995.
- Kum, J. S., etc, "Experimental Study on Thermal Comfort Sensation of Korean", Korean Journal of The Science of Emotion & Sensibility 1(1), pp.199~211, 1998.
- Lauder, B.E. and Spalding, D.B., Mathematical Models of Turbulence, Academic Press, London, 1972.
- Onishi, J., Tanaka, S. and Naito, M., Numerical Prediction of Room Air Distributins- Effects of calculation procedures at Fluid-Solid interfaces," in Proceedings of the ASHRAE symposium on Building systems, Illinois, pp.161~168, 1988.
- Onishi, J., Takeya, N. and Mizuno, M., Study on numerical prediction methods for indoor airflow and thermal environments (Part 1), Transactions of SHASEJ 55, pp.23~34, 1995.
- Onishi, J., Koga, S., Mizuno, M., Takeya, N. and Kitagawa., K., Computer Effort saving Methods in Unsteady Calculations of Room Airflows and Thermal Environments," in Proceedings of the Room-Vent '98 6th International Conference on Air Distribution in Rooms, Stockholm, pp.117~123, 1998.
- Patankar, S. V., Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, McGraw-Hill, 1980.
- Park, H. S., Yoon, Y. J., "A Study on the Optimum Heating and Cooling System in School Building", Journal of the Korean Institute of Educational Facilities 6, pp. 84~92, 1999.