

## 천장형 유닛을 설치한 교실 내의 인체 주변 온열환경에 관한 실측연구

조 성 우<sup>†</sup>, 임 영 빈, 이 경 희<sup>\*</sup>  
부경대학교 건축공학부, <sup>\*</sup>밀양대학교 건축학부

### A Field Measuring Study on the Thermal Environment of Human Surrounding in the Classroom Equipped with Ceiling Unit

Sung-Woo Cho<sup>†</sup>, Young-Bin Im, Kyung-Hee Lee<sup>\*</sup>

*Division of Architectural Engineering, Pukyong University, Busan 608-737, Korea*

*<sup>\*</sup>Division of Architecture, Miryang National University, Gyeongsangnam-do 627-702, Korea*

*(Received October 19, 2005; revision received January 31, 2006)*

**ABSTRACT:** This paper performed to investigate on vertical temperature distribution, effective draft temperature (ETD) and PMV (Predicted Mean Vote) in the classroom, which is located YangSan city (Kyungsangnam-Do), Korea, is equipped with ceiling unit. The vertical temperature difference between F.L+10 cm (ankle) and F.L+120 cm (neck) of a measuring point which is adjacent corridor in the classroom showed about 1°C but of measuring point which is adjacent outdoor expressed up to 4°C. The effective draft temperature (ETD) is -2.3 and -0.52 and 0.67 at near ceiling unit but is 1.2 and 3.3 at far from ceiling unit. The PMV of total classroom showed the range of "Cold" and "Slightly Cold." Therefore, to achieve comfort condition in the classroom is equipped with ceiling unit, the location of ceiling unit and discharge angle and discharge distance from ceiling unit are very important elements.

**Key words:** Temperature distribution(온도분포), Field measuring(현장측정), Ceiling unit(천장형 유닛), PMV(예상온열감), ADPI(공기확산지표)

## 1. 서 론

### 1.1 배경 및 목적

2000년대 접어들면서 학교시설 개선사업의 일환으로 이미 신축한 초·중·고등학교에는 냉난방시설이 도입되었으며, 재건축이나 리모델링에 의해서 학교시설을 개선하고자 하는 학교에서는 냉

난방 시설을 도입할 예정으로 있다. 또한, 부산시 교육청에 따르면 2001년부터 시내의 초·중·고등학교에 냉난방시설을 설치하고 있으며, 현재에도 진행 중인 것으로 나타났다.<sup>(1)</sup>

냉난방 시설의 대부분은 4방향으로 공기가 취출되는 4-way형 천장형 유닛(ceiling unit)이 주류를 이루고 있으며, 이는 실내공기를 재순환시켜 냉방과 난방을 수행하고 있다.

본 연구에서는 4-way형 천장형 유닛의 취출공기에 대한 실내공기의 온열분포를 알아보기 위하여 실제의 인체를 대상으로 온열감을 측정·조사하였다. 이는 기(既) 설치된 천장형 유닛과의 거

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-403-3019; fax: +82-55-350-5349

E-mail address: c\_sungwoo@hotmail.com

리에 따른 인체의 온열감을 현장 측정을 통해 조사하여, 향후 천장형 유닛의 적정 설치위치 및 취출각도 등에 대한 활용을 위한 기초적인 자료를 제공함을 목적으로 한다.

### 1.2 범위 및 방법

본 연구는 경상남도 양산시에 위치하고 천장형 유닛이 설치되어 있는 모 초등학교의 교실 내의 온열환경과 재실자에 대한 온열감을 조사하기 위하여 현장 측정을 실시하였다.

천장형 유닛의 가동은 일반적으로 수업할 때 가동하는 시간과 동일한 패턴으로 작동시켰다.

초등학생들의 경우, 열전대를 몸에 붙이고 장시간 측정하는 것이 불가능하다고 판단하여 인체 모델은 신장 172cm의 표준체형인 현장 측정인원으로 대체하였으며, 실제의 수업시 환경과 유사하도록 조성하여 인체모델에 대한 피부온도를 측정하였다. 또한, 교실 정면에 설치된 칠판을 중심으로 좌우 및 중심선을 따라 5개 지점으로 나누어, 각각의 지점에서 높이에 따른 3개 지점과 착석상태의 인체모델에 대하여 목과 무릎 및 발목의 3개 지점에 열전대를 부착하여 온도를 측정하였으며, 각 지점별 PMV도 조사하였다.

본 연구에서는 현장 측정을 통한 교실 내의 온도분포와 인체 온열감 및 공기확산지표(ADPI)를 통한 실 전체의 온열환경을 알아보하고자 한다.

## 2. 대상 건축물의 측정개요와 방법 및 기기

### 2.1 측정개요와 방법

측정대상 건축물은 양산시에 위치한 3층의 초등학교로 냉방과 난방을 겸용할 수 있는 4way형-천장형 유닛을 설치하고 있다. 유닛의 운전시간은 학생들이 교실에서 생활하는 시간을 기준으로 08:00~16:00로 하였으며 취출온도는 18℃, 취출각도는 임의조절이 가능한 형태이다. 측정일은 2004년 8월 18일, 측정시간은 12:10~16:00이며, 이 시간대의 평균 외기온도는 31℃로 나타났다. 천장형 유닛은 냉방모드로 가동하였으며, 각 높이별에 따라 인체에 열전대를 부착하여 데이터로그를 이용하여 인체 피부온도와 이와 동시에 측정 높이 주변의 공기온도를 10분 간격으로 측정하였다. 각 지점별 측정점과 천장형 유닛의 설치위치는 Fig. 1과 같고, Fig. 2는 열전대를 부착한 인체의 측정 높이를 나타내고 있다.

각 지점에 따른 PMV의 측정은 AM-101을 이용하였으며, 각 지점에서 2분간 측정하였다.

높이에 따른 측정위치는 학생이 교실에서 수업하는 자세를 기준으로 하였으며, 각 지점에 대하여 바닥 위 10cm(F.L+10cm)에 해당하는 발목 부근과 바닥 위 40cm(F.L+40cm)에 해당하는 무릎 부근 및 바닥 위 120cm(F.L+120cm)에 해당하는 목 부근에서 실시하였다.

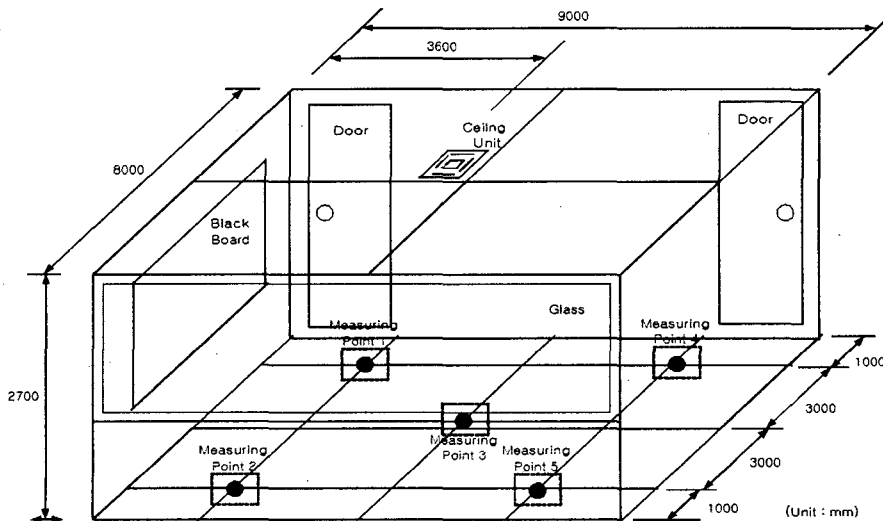


Fig. 1 Schematic of design and measuring points in the classroom.

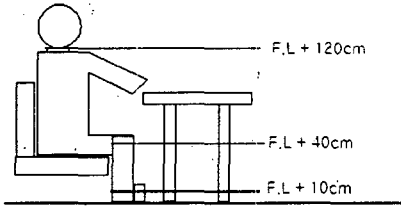


Fig. 2 Measuring height of human and surrounding in the classroom.



(a) Skin temperature (b) Measuring equipment  
Fig. 3 Measuring equipment and measuring skin temperature.

대상 건물에 설치된 천장형 유닛은 수업 중에 가동되는 방식에 따라 측정하였고, 취출각도는 40° 부근에서 최적의 온도분포를 얻을 수 있다는 연구결과<sup>(2)</sup>에 따라 제품의 특성을 고려하여 45° 정도로 고정하였다. 인체에 대한 피부온도의 측정과 장치의 설치는 Fig. 3과 같다.

2.2 측정기기

본 연구에서 온도 및 기류와 PMV를 측정하기

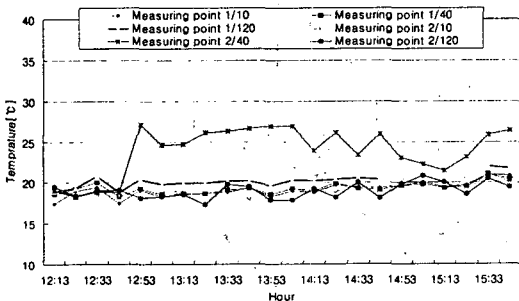


Fig. 4 The vertical air temperature distribution in measuring point 1 and 2.

Table 1 Measuring items and instruments

Measuring item	Instruments	Models
Air temp.	Data logger	MDL-64
Air velocity	CompuFlow	8570-MALNOR
PMV*	Amenity meter	AM101

\* Clothing = 0.5 clo, metabolic rate = 1.4 met.

위한 측정기기는 Table 1과 같다. 인체모델은 반소매 셔츠와 반바지를 착용하고, 책상에서 가벼운 작업이므로 0.5 clo와 대사량 1.4 met로 하였다.<sup>(3)</sup>

3. 교실 내의 온도분포

3.1 각 지점별 수직온도분포에 대한 고찰

교실 내의 공기혼합의 정도를 파악하기 위하여 측정지점에 대한 높이별 수직온도분포를 조사하였다. 교실 내의 측정점 1과 2의 실시간별 공기온도에 대한 수직온도분포는 Fig. 4와 같다. 그림에서 범례의 measuring point 1/10에서 1은 측정위치, 뒤의 10은 측정 높이를 나타내는 것이다.

측정점 1은 천장형 유닛과의 거리가 짧고, 복도측에 접하고 있으므로 외기에 대한 영향을 받지 않는 반면, 창 부근에 위치하고 있는 측정점 2는 천장형 유닛과의 거리가 멀고, 외기의 영향을 쉽게 받을 수 있는 위치에 있다.

천장형 유닛과 가까운 측정점 1에서는 각 높이에 따른 평균 수직온도의 분포는 19.1~20.2℃의 분포를 나타내어 상하온도차의 범위가 1℃ 정도로 작게 나타난 것을 볼 수 있다.

천장형 유닛과 거리가 먼 측정점 2의 경우에는 평균 수직온도분포가 19.0~23.9℃로 차가 5℃

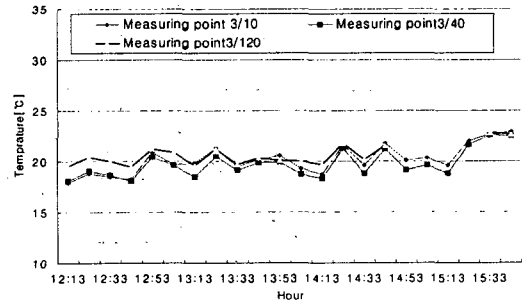


Fig. 5 The vertical air temperature distribution in measuring point 3.

정도를 나타내고 있다. 특히, F.L+40 cm에서의 평균 온도가 23.4℃로 최고를 나타내고 있다. 이는 F.L+40 cm의 부근에서는 일사가 직접적으로 유입됨과 동시에 주위에 있는 책상 등과 같은 물체의 축열에 따른 영향으로 판단된다.

F.L+10 cm과 F.L+120 cm 지점에서 측정점 1의 동일 높이에 대한 평균 온도와 비슷한 값을 가지는 것은 F.L+10 cm 부근의 냉각기류와 F.L+120 cm 부근의 대류현상에 의한 영향으로 판단된다.

측정점 3(실의 중앙지점)에 대한 실시간별 수직온도분포는 Fig. 5와 같다.

외기의 영향을 받지 않는 교실 중앙점인 측정점 3에서의 평균 수직온도분포는 20.2~20.6℃를 나타내고 있다. 측정점 1과 비교하여 다소 높은 분포로 나타났다. 이는 천장형 유닛의 취출구와의 위치 및 45°로 고정된 취출각도와 및 취출거리와의 관계에서 기인하는 것으로 판단된다.

칠판에서 거리가 가장 먼 측정점 4와 5에 대한 실시간별 수직온도분포는 Fig. 6과 같다.

측정점 4의 수직온도분포는 20.3~22.7℃의 분포로 상하의 평균 온도차는 2.4℃로 나타났다. 측정점 1과 비교하여 다소 온도차가 크게 나타난 것은 천장형 유닛의 취출거리와 관계가 있는 것으로 사료된다.

측정점 5의 수직온도분포는 23.7~28.7℃로 그 차이가 4℃ 이상을 나타내고 있으며, 측정점의 온도 또한 가장 높게 나타났다. 이와 비슷한 위치에 있는 측정점 2와 비교하여 평균 온도가 5℃ 이상의 차를 나타내고 있다. 이는 천장형 유닛의 설치위치에 따른 취출거리와 관계가 매우 밀접한 것으로 사료된다.

교실 내의 수직온도분포는 창으로부터 유입되

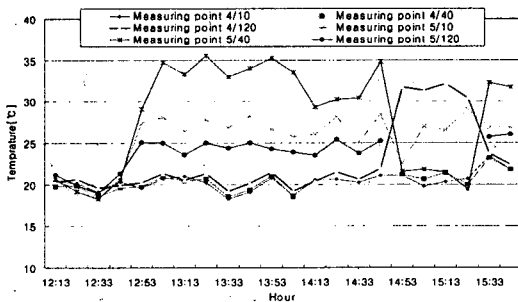


Fig. 6 The vertical air temperature distribution in measuring point 4 and 5.

는 일사의 영향을 받는 측정점 2와 5에서는 온도차가 매우 크게 나타나는 반면, 외기의 영향을 작게 받는 측정점 1과 3 및 4에서는 수직온도의 변화가 비교적 작다는 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 4 way형-천장형 유닛은 외기의 영향에 따른 설치위치의 고려와 취출각도는 취출 도달거리와 비교하여 적정각도를 선정할 필요가 있다고 판단된다.

### 3.2 교실 내의 공기확산지표에 대한 고찰

재실자들에 대한 열적 쾌적감의 조사와 공기의 혼합 정도를 파악하기 위하여 식(1)의 유효드래프트온도( $\theta$ : effective draft temperature)<sup>(3)</sup>를 사용하였다. 식(1)에서 유속은 0.35 m/s 이하이고, 유효드래프트온도( $\theta$ )의 값이  $-1.7 \leq \theta \leq +1.1$ 의 범위에 속하여야 한다.

실 전체 측정지점에 대하여 유효드래프트온도의 범위에 속하는 지점에 대한 비율을 말하는 공기확산지수(Air Diffusion Performance Index, ADPI)의 최대값은 100%이며, 가장 바람직한 실의 공기확산을 의미한다. 식(1)을 이용하여 구한 교실 내의 유효드래프트온도( $\theta$ )는 Fig. 7과 같다.

$$\theta = (t_x - t_c) - 8(V_x - 0.15) \quad (1)$$

여기서,

- $\theta$  : 유효드래프트온도
- $t_x$  : 어떤 지점의 건구온도[℃]
- $t_c$  : 실의 평균 온도 [℃]
- $V_x$  : 어떤 지점의 유속 [m/s]

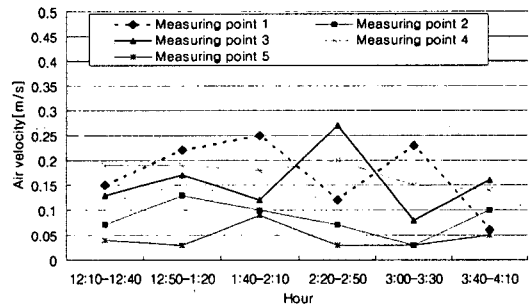


Fig. 7 The average air velocity from 12:10 to 16:10 in each point.

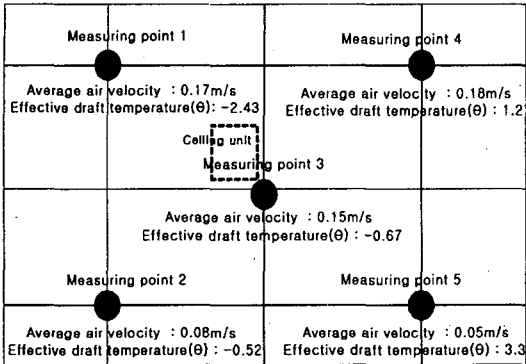


Fig. 8 The effective draft temperature in each point.

교실 내의 유효드래프트온도를 조사하기 위하여 필요한 각 지점의 호흡역(FL+120 cm)에서 기류속도는 30분간 평균값을 사용하였으며, 각 지점에 대한 유효드래프트온도는 Fig. 8과 같다.

교실 내의 최대 유속은 0.27 m/s로 나타났으며, 측정점 1과 4에서 0.15 m/s를 초과하는 것으로 나타났으며, 교실 전체의 평균 온도는 21.5°C이다.

교실 내의 유효드래프트온도의 값은 -2.43~3.33까지로 그 폭이 아주 넓게 나타났으며, 유효드래프트의 범위에서 벗어나는 지점은 1, 4, 5의 3개 지점으로 나타났으며, ADPI는 40%로 실 전체의 공기확산에 많은 문제점이 있는 것으로 나타났다.

천장형 유닛과 거리가 가까운 측정점 1에서는 그 값이 -2.43으로 아주 낮게 나타난 반면, 거리가 가장 멀고, 외기의 영향을 쉽게 받는 측정점 5에서는 3.33으로 아주 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 천장형 유닛의 취출 특성, 즉 취출도 달거리, 취출각도 및 설치위치 등을 파악하여 설치하지 않으면 실 전체의 공기확산에 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다.

#### 4. 인체 주위의 온냉감과 실 전체의 PMV

##### 4.1 인체의 피부온도 및 주위의 온냉감

교실 내에서 수업하고 있는 학생들의 온열감을 조사하기 위하여 직접적으로 열전대를 피부에 부착하여 발목, 무릎과 목의 피부온도를 측정하였다. 이는 Koestel and Tuve<sup>(5)</sup>가 제안한 목 부위보다

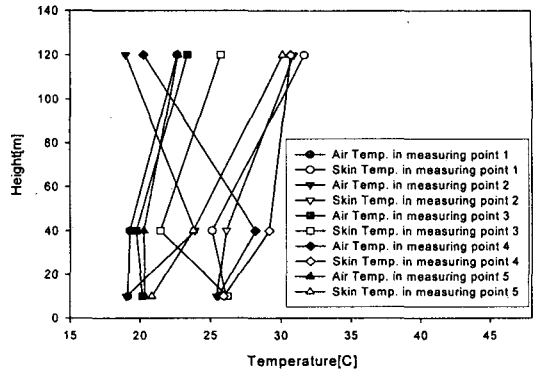


Fig. 9 Air and skin temperature of measuring points.

무릎 부근에서 빠른 유속과 찬 공기온도가 인체에 많은 영향을 미친다는 보고에 따른 것이다.

각 지점에 대한 피부온도와 그 부근의 온도차에 기인하는 학생들의 온열감에 대한 불쾌감을 조사하였다. 각 지점에 대한 피부온도와 그 부근의 온도분포는 Fig. 9와 같으며, Koestel and Tuve가 제안한 식(1)에 의한 유효그래프트 온도차는 Table 2와 같다. Koestel and Tuve가 제안한 그래프(Fig. 10)에 적용시켜 각 지점에 대한 냉감을 조사하였다. 단, 여름철에 있어서 유속이 0.15 m/s 이상이 되면 식(1)에서 유효드래프트온도의 값은 무시되고, 유속에 따른 냉감(冷感)은 더 커진다.<sup>(3)</sup>

Table 2와 같이 측정점 1과 4지점의 실내 유속은 0.15 m/s 이상이므로 여기서는 무시되었다.

대상 교실의 경우, 발목 부근에서는 측정점 2와 3지점에서는 냉감을 보다 더 유발시킬 수 있는 상황이나, 측정점 5에서는 기류속도로 인하여 온감이 더해지는 경우에 속하는 것으로 나타났다.

목 부근에서 발목 부근의 현상과는 달리 측정점 2에서 약 20% 정도의 냉감을 더 느끼는 것으

Table 2 Effective draft temperature (EDT) difference in each point

	Ankle	Neck
Measuring point 1	-1.89 <sup>*</sup> /0.17	0.89 <sup>*</sup> /0.25
Measuring point 2	-1.3/0.08	-2.1/0.08
Measuring point 3	-0.67/0.15	1.79/0.15
Measuring point 4	4.49 <sup>*</sup> /0.17	-1.53 <sup>*</sup> /0.18
Measuring point 5	0.34/0.05	1.95/0.05

EDT/air velocity [m/s], \* : negative.

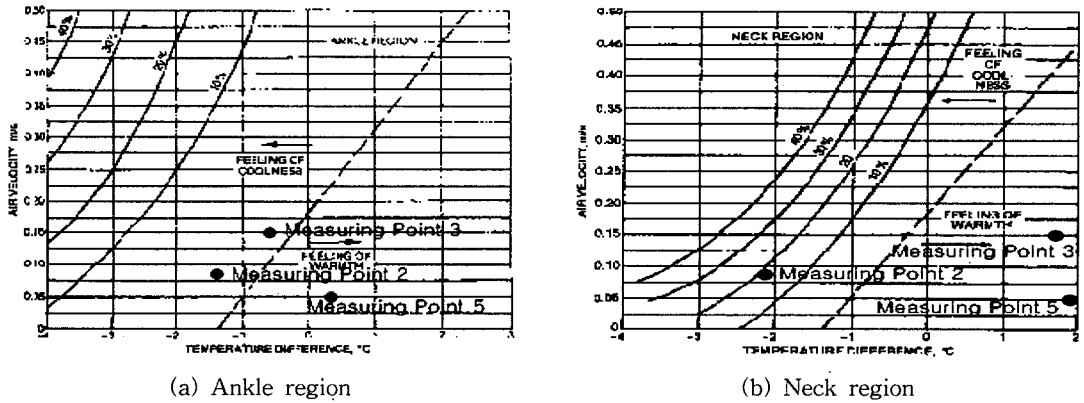


Fig. 10 Percentage of occupants objecting to drafts in classroom.

로 나타난 반면, 측정점 3과 5에서는 반대현상이 나타났다. 특히, 측정점 5의 목 부근에서는 직접적인 일사가 온감을 느끼는데 큰 역할을 한 것으로 판단된다.

이는 교실의 특징상 책상과 의자의 배치 및 학생들의 지참물 등으로 인하여 실내에서의 공기유동이 원활하지 않은 것을 알 수 있다.

그러므로 천장형 유닛의 설치시, 책상과 의자의 배열을 칠판을 중심으로 한 일률적인 사각형태의 배치는 취출되는 냉기류의 원활한 흐름에 대한 장애요인이 되므로, 책상과 의자의 배치에서도 주의가 필요할 것으로 사료된다.

4.2 교실 내의 PMV

교실 내의 각 지점에 대한 수직온도와 ADPI에

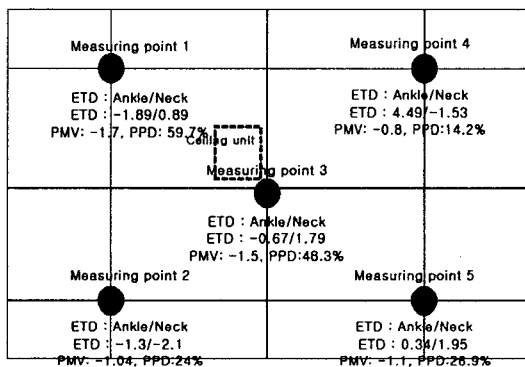


Fig. 11 The result of ETD and PMV on each point in the classroom.

대하여 고찰하였고, 본 장에서는 교실 내의 PMV와 PPD에 대하여 살펴보고자 한다.

각 지점에 대한 PMV와 PPD는 30분 동안 측정된 값을 사용하였으며, 결과는 Fig. 11과 같다.

PMV(Predicted Mean Vote ; 예상온열감)의 쾌적범위에 대한 값은  $-0.5 \leq PMV \leq +0.5$ 이나, 각 지점에 대한 값은 이 범위를 벗어나 쾌적범위에 속하지 않는 것으로 나타났다. 특히, ETD값이 무시된 측정점 1과 4에서 PMV는 각각 -1.7과 -0.8로 "Cold"와 "Slightly Cold"의 범위에 속하는 것으로 나타났다. PPD(Predicted Percentage of Dissatisfied ; 예상불만족률)는 측정점 1에서 60%에 가까운 값으로 나타났다.

측정점 2의 경우에는 ETD과 PMV의 값이 모두 "Cold"로 나타났으나, 측정점 5에서는 반대되는 값이 나타났다. 이는 직달 일사에 의한 성분인 큰 요인으로 작용한 것으로 판단된다.

대상실 PMV값의 범위가 전체적으로 "Cold"와 "Slightly Cold"에 속하므로 향후 천장형 유닛의 설치시, 설치위치, 취출각도 및 취출 도달거리를 고려하여 설치하여야 할 것으로 사료된다.

5. 결 론

천장형 유닛을 설치한 교실 내의 수직온도 및 인체와 그 주위에 대하여 현장 측정을 통해서 얻은 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) 교실 내의 수직온도분포는 천장형 유닛과 거리가 가까운 곳에 위치하고 외기의 영향이 작은 부분(중앙선을 기준으로 유닛이 창측에 가깝

게 설치된 경우)에서는 그 차이는 작으나, 외기의 영향을 받는 부분(중앙선을 기준으로 유닛이 문측에 가깝게 설치된 경우)에서는 그 차이가 아주 크게 나타났다. 그러므로 천장형 유닛의 설치시, 외기의 영향에 따라 설치위치 및 취출온도에 따른 변화가 있어야 할 것으로 판단된다.

(2) 실 전체의 공기확산 정도를 나타내는 ADPI는 40%로 책상과 학생들의 지참물 등의 장애물에 의하여 공기의 유동이 원활하지 못하므로, 책상의 배치 등을 고려하여야 할 것이다.

(3) 교실 내의 PMV는  $-0.8 \sim -1.7$  모두 "Cold"와 "Slightly Cold"의 범위에 속하므로, 설계 초기보다 정확한 부하의 계산과 더불어 유닛의 취출온도와 취출각도 및 취출 도달거리를 고려하여 천장형 유닛을 설치하여야 할 것이다.

## 참고문헌

1. <http://www.sulbee.co.kr/200403/monthly/news/>.
2. Noh, K. C. and Oh, M. D., 2004, Analysis on the optimal discharge angle of the 4-way air conditioner by thermal comfort and ventilation indices, SAREK Proceeding, pp.656-661.
3. Parsons, K. C., 1993, Human thermal environments (The principle and the practices), Taylor and Francis, pp.139-150.
4. Im, M. T., 2002, Architecture environment, Bomundang, p. 89.
5. ASHRAE Fundamental, 1989, Chapter 31.