

겨울철 가습 및 환기에 따른 교실내 쾌적환경 분석

성 내 리, 정 성 일, 이 재 근,[†] 박 중 훈*

부산대학교 기계공학과, *LG전자(주)

Analysis of Comfortable Environment in the Classroom with Humidification and Ventilation in Winter

Naili Sheng, Seongir Cheong, Jaekeun Lee,[†] Jonghoon Park*

Department of Mechanical Engineering, Pusan National University, Pusan Korea

ABSTRACT: This experimental study was to analyze thermal comfort and indoor air quality(IAQ) with ventilation and humidification in the classroom when system air conditioner was operated. The thermal comfort was estimated by the PMV index and the concentration of CO₂ and total suspended particle(TSP) were measured and compared with ventilation and humidification. As a result, the class room temperature distribution was 2~5°C low during operating ventilation system and humidification. At 60% RH, PMV values of measuring points were ranged from +0.5 to -0.5 indicating optimal the range of thermal comfort. The average concentration of CO₂ gas and TSP were reduced 645 ppm, 0.17 mg/m³ respectively, during operating the ventilation system. From the results, to maintain comfortable environment in the heated classroom, the ventilation and humidification were needed in winter season.

Key words: Indoor Air Quality(실내공기질), Total Suspended Particle(총부유분진)
Predicted Mean Vote(예상온열감), Thermal Comfort (열쾌적성)

1. 서 론

겨울철 실외활동의 감소로 대부분의 시간을 실내에서 보내게 된다. 밀폐된 실내는 외부와의 공기순환이 어려워 각종 먼지, 세균, 유해가스, 냄새 등으로 오히려 실외의 공기보다 오염도가 높은 것으로 나타나고 있다. 특히 학교 교실의 경우 학생의 건강 및 학습효율의 향상을 위한 쾌적

환경의 조성이 무엇보다 중요하다. 실내 환경을 조성하는 공기조화기기로는 냉난방시스템과 환기시스템이 있으며 특히 과거에 인식하지 못했던 실내 환경의 청정도 개선 측면에서 환기시스템에 대한 연구가 최근 들어 활발하게 진행되고 있다. 그러나 환기시스템은 실내의 청정도뿐만 아니라 실내 환경을 종합적으로 변화시킬 수 있으며 특히 냉난방시스템과 연계하여 작동할 경우 실내의 온열환경에도 큰 영향을 미치게 된다. Teodosiu et al.⁽¹⁾은 수치적인 방법을 통해 실내의 쾌적도에 습도가 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 액적이 복사에 의한 에너지를 흡수하므로 습도조건을 고려함으로써 보다 정확한 온

[†] Corresponding author
Tel.: +82-51-510-2455; fax: +82-51-582-6368
E-mail address: jklee@pusan.ac.kr

열쾌적도를 분석할 수 있다고 보고하고 있다. Han et al.⁽²⁾은 학교 교실에서 환기시스템과 난방시스템의 풍량에 따른 PMV와 CO₂의 농도 특성을 비교 분석하였다. Kim et al.⁽³⁾은 여름철 조건을 구현한 환경 챔버(Chamber)에서 재실자를 배치하여 설문조사를 통해 냉방 시 상대습도에 따른 쾌적감을 분석하였다. 주로 청년과 고령자를 중심으로 실험이 이루어졌으며 24℃의 실온에서는 상대습도의 영향이 미미하나, 30℃가 되면 상대습도가 쾌적도에 큰 영향을 미치는 것으로 보고하였다. 그리고 학교 교실의 실내 공기질 측면에서 환기량에 따른 교실의 CO₂ 농도를 통해 필요 환기량을 실제 학교 환경에서 측정을 실시하였다.^(4, 5) 선행연구를 보면 겨울철 습도변화 및 환기유무에 따른 교실내 열쾌적성 및 공기질의 연구를 미비하므로 본 연구는 실제 환경에서 실내의 가습조건 및 환기시스템 가동 유무에 따른 PMV, CO₂와 TSP의 농도를 통해서 교실내의 쾌적도 및 공기질을 분석하였다.

2. 쾌적도 평가방법(Predicted Mean Vote)

예상온열감(Predicted Mean Vote, PMV)은 덴마크 공과대학 Fanger 교수가 1967년에 개발한 이론으로 ISO 7730⁽⁶⁾으로 채택되어 실내 열쾌적성의 평가지표로 가장 널리 쓰이고 있다. 인간의 온열 감각에 대한 이론을 정량화시킨 것으로 인체의 대사율, 의복의 열저항값 등을 산정하고, 건구온도, 평균복사온도, 기류속도, 수증기 분압 등을 측정하여 인체의 열평형을 기초로 쾌적 방정식에 대입하여 온열감을 이론적으로 예측한 것이다. 즉 PMV는 온열 환경 6요소(신체 발열량, 의복의 단열, 건구온도, 평균복사온도, 수증기분압 or 습구온도, 기류속도)를 쾌적 방정식에 대입시켰을 때의 산열량(몸에서 발생하는 열량)과 방열량의 불평형분과 사람의 온열 감각을 피험자 실험에 의해 관계 지어 나타낸 지표이다.

Table 1은 PMV에 따른 열적 쾌적상태를 나타내고 있다. 열적 중립상태를 0으로 하고, -3~+3

Table 1 PMV index with thermal comfort

-3	-2	-1	0	1	2	3
Cold	Cool	Slightly cool	Neutral	Slightly warm	Warm	Hot

의 수치척도를 춥다(Cold), 서늘하다(Cool), 약간 서늘하다(Slightly Cool), 중립(Neutral), 조금 따뜻하다(Slightly Warm), 따뜻하다(Warm), 덥다(Hot)로 관계를 지어 나타내므로 이해하기 쉽다. 일반적으로 PMV의 적용범위는 중립값으로부터 소위 쾌적환경의 근방에 한정되어 있으므로, 땀을 다량 흘리는 고온다습 환경이나 추위로 떠는 극한 환경에서는 적용할 수 없다. 그러나 PMV를 적용할 수 있는 범위에서 통상의 사무실 및 주거환경의 경우 인간의 감각과 잘 맞는 유용한 지표이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험대상 교실선정

본 연구에서 쾌적조건을 도출하기 위해서 대학교 교실을 선정하였다. Fig. 1은 실험을 위한 교실내 측정지점을 나타내고 있다. 실험 대상 교실은 가로 14 m, 세로 8 m, 높이 2.6 m의 공간으로 수용 가능 인원은 약 40명이다. 4-Way Cassette 형 에어컨(LT-W1100SD, LG)이 설치되어 있으며 환기시스템(LZ-H1002SB, LG)은 최대 1000 CMH의 유량을 가지는 모델이 설치되어 있다. 환기구의 위치는 창측에 5개의 급기구와 복도측에 5개의 배기구가 설치되어있다. 유동은 창측에서 복도 측으로 이동하면서실내의 공기를 균일하게 배출할 수 있는 구조를 이루고 있다. 시스템에어컨의 경우 재실 영역을 4등분 하였을 경우 1/4지점 중앙과 3/4지점 중앙에 4방으로 배출되고 에어컨 중앙으로 공기가 흡입되는 구조를 가지고 있다.

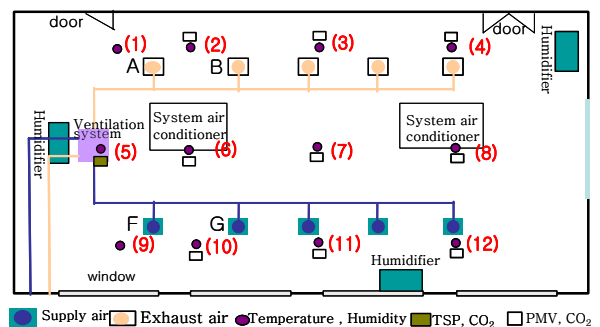


Fig. 1 Location of measuring points in the classroom.

3.2 실험조건 및 실험 방법

Table 2는 본 연구에서의 실험조건을 나타내고 있다. 모든 Case는 시스템에어컨을 운전하고 Case 4만 제외하고 Case 1, Case 2, Case 3은 환기시스템을 운전한다. 실내의 상대습도(20%RH, 31%RH, 40%RH, 60%RH)에 따라 Case 별 재실 영역의 쾌적성을 분석을 실시하였다. 또한 환기 시스템 작동 유무에 따른 실내공기질의 변화를 분석하였다. 본 연구에서 모든 조건에서 시스템에어컨의 경우 온도가 23℃로 설정하여 환기시스템의 유량을 800 CMH로 일정하게 운전하였다.

본 연구에서는 실내공기의 종합적 측정을 위해 실내종합환경측정장치(ICS-2000, Casella)를 사용하여 건구온도, 습구온도, 흑구온도, 기류속도, CO₂ 농도를 측정하였다. 본 실험에서는 실내의 쾌적도 분석을 위해 오전 9시와 오후 2시에 ICS-2000장치를 통해 Fig. 1에 표시된 12개 지점 중 강의실 앞쪽에 위치한 9개[(2)~(4), (6)~(9), (10)~(12)]지점에 대한 측정을 실시하였다.

이외에 실내의 총부유분진량(Total Suspended Particle)을 측정하기 위하여 입자질량농도계(Microdust880, Casella)를 사용하였다. 총부유분진의 비교는 환기시스템의 가동 유무에 대해서 비교분석을 하였다. 가습에 의해 실내의 부유입자가 감소할 것으로 생각되나 가습이 부유입자에 미치는 영향에 대하여서는 본 연구에서 제외하였다.

또한 자기온습도계(EL-2, Lascar)를 사용하여 실내의 12지점 및 실외의 온습도를 실시간으로 측정하였다. 각 지점별 온습도의 측정은 국부적인 온습도의 불균일한 정도를 평가할 수 있다. 실내 온도는 외기온도의 변화에 큰 영향을 받는데 외기의 온도가 시간에 따라 변화하여 그러한

Table 2 Experimental conditions of different case.

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Relative humidity(%)	20%RH	40%RH	60%RH	31%RH
The number of persons	25	26	29	25
Ventilation system	on	on	on	off
System air-conditioner	on	on	on	on

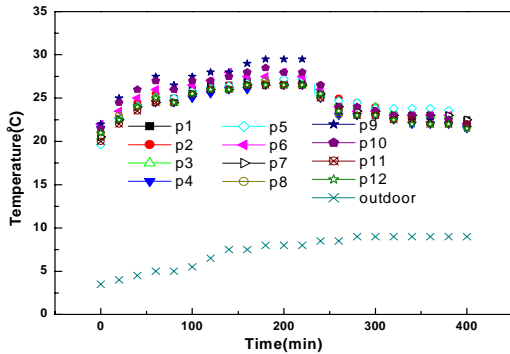
변화에 따라 교실 내의 온열 환경은 변화하게 된다. 뿐만 아니라 가습기 및 시스템에어컨의 위치에 따라 국부적으로 온열 환경이 다르게 나타난다.

4. 실험결과 및 고찰

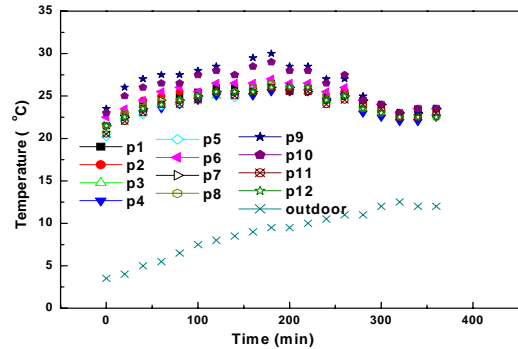
4.1 가습 및 환기에 따른 교실의 온도분포

시스템에어컨의 4-Way 출구에 직접적으로 영향을 받는 지역에서 온도가 비교적 높게 나타나고 있다. 측정 지점별 온도 편차는 최대 5℃까지 나타나고 있다. Fig. 2는 Case별 시간에 따른 실내온도의 변화이다. (a)는 Case 1(가습 20%, 환기 on, 난방 on)의 온도 분포를 나타내고 있으며 비교적 (6), (9), (10) 지점에서 높은 온도분포를 보이고 있다. 이 지점은 시스템에어컨의 영향을 직접적으로 받는 지역으로 비교적 에어컨에서 나오는 유속이 타 방향에 비해 빠르고 강하게 작용하였다. 시간에 따른 온도의 변화를 보면 오전 동안 실내의 온도가 상승하다가 220분 경과하였을 때 시스템에어컨이 꺼지면서 급격히 온도가 하강하게 된다.

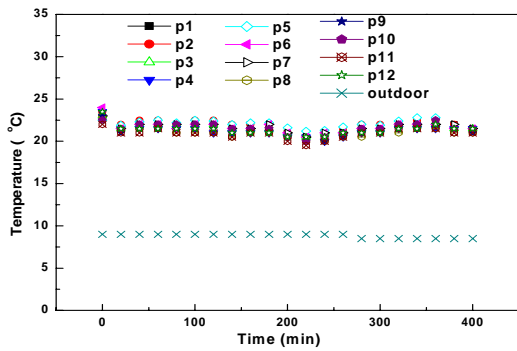
그 이후 교실내부의 온도가 23℃가 되면 온도가 전체적으로 완만하게 하강하는 것을 볼 수 있다. 이는 외기로의 열손실과 재실자의 체온에 의한 재실공간으로의 열공급이 평형을 이루면서 시스템에어컨의 가동이 이루어지지 않을 정도로 교실내의 온도가 유지되는 것으로 볼 수 있다. 220분 정도 경과 후 시스템에어컨이 꺼진 것은 시스템에어컨의 가동 방식에 따른 것으로 추정된다. 실제 시스템에어컨의 가동은 컨트롤러의 위치에 의해 큰 영향을 받는다. 실내온도의 조절은 컨트롤러에 있는 센서를 통한 온도 측정과 시스템에어컨에 유입되는 공기의 온도를 측정하여 들 중 낮은 온도를 기준으로 이루어진다. 대부분 시스템에어컨의 컨트롤러는 벽면에 부착되어 있고 재실 영역에서 낮은 온도를 보이는 곳에 설치됨으로써 재실 영역은 설정 온도보다 높은 상태를 유지하는 경우가 많다. 본 연구에서 측정된 교실의 경우 컨트롤러가 (4)지점에 가까운 복도측 벽면에 위치하고 있다. 따라서 (4)지점의 온도변화에 따라 시스템에어컨의 가동이 결정되는데(4) 위치는 교실의 앞쪽문과 가까이 위치하여 비교적



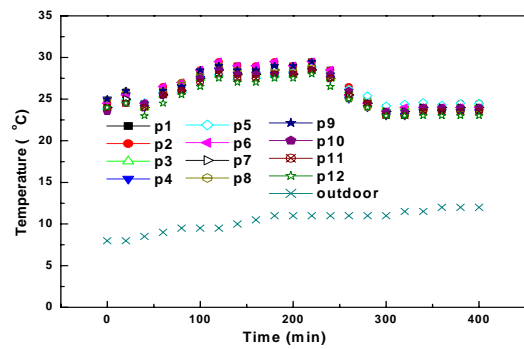
(a) Case 1 (20%RH, Ventilation system ON).



(b) Case 2 (40%RH, Ventilation system ON).



(c) Case 3 (60%RH, Ventilation system ON).



(d) Case 4 (31%RH, Ventilation system OFF).

Fig. 2 Indoor temperature variation as a function of time at cases.

낮은 온도를 유지하게 됨으로써 다른 지역은 설정 온도보다 높은 경향을 보이고 있다.

(b)는 Case 2(가습 40%, 환기 on, 난방 on)에서의 지역별 온도 분포를 나타내고 있다. 가습이 이루어지지 않을 때보다 (9), (10) 영역의 온도와 다른 지점의 온도차가 더욱 크게 나타나고 있다. 이는 실내가 가습 되면서 가습기의 영향으로 습기가 유입되는 지점은 낮은 온도 분포가 형성된다. 급기구 F, G에서 외기가 흡입되어 배기구 A, B로 공기가 이동하면서 가습된 습기는 (9), (10) 지점까지 도달하지 못하게 되면서 더욱 온도 편차가 크게 나타난 것으로 생각된다. 그러나 시간에 따른 온도 변화를 볼 경우 외기의 온도 변화가 Case 1보다 크게 나타남에도 불구하고 가습에 의해 온도의 변화가 완화되어 시간에 따른 온도 변화가 Case 1에 비해 안정적이다.

(c)는 Case 3(가습 60%, 환기 on, 난방 on)에서의 지역별 온도 분포를 나타내고 있다. 실내가 전체적으로 충분히 가습이 이루어지면서 온도가 낮아진 것을 볼 수 있다. 또한 외기의 온도가

안정되고, 습기가 방 전체적으로 높게 형성되면서 재실 영역 전체가 시간에 관계없이 일정한 온도를 유지하고 있다.

(d)는 Case 4(가습 31%, 환기 off, 난방 on)에서의 지역별 온도 분포를 나타내고 있다. 온도 분포에 있어서 Case 1과 유사한 경향을 보이고 있다. 그러나 외기의 도입이 이루어지지 않음으로써 실내의 온도는 보다 높게 나타나고 있다. Case 4에서도 시스템에어컨의 가동이 중단되면서 급격하게 온도가 하강하는 것을 볼 수 있다. 또한 환기시스템의 가동이 중단되면서 시스템에어컨 바로 아래지점의 기온이 높아진 것을 볼 수 있다. 즉 (6), (8)지점의 온도가 Case 1에 비해 증가한 것을 볼 수 있다. 이는 환기에 의해 형성되었던 기류가 없어지면서 시스템에어컨에서 토출된 기류가 바로 아래 지점에 큰 영향을 미치기 때문이다.

4.2 가습 및 환기에 따른 교실내 쾌적도 변화

본 연구에서는 겨울철 가습에 따른 실내의 쾌적도를 PMV를 통해서 평가하였다. 인체의 발열량의 경우 앉아서 하는 활동으로 1.2 MET (70 W/m²)를 적용하였다. 1.2 MET는 사무실, 학교, 거주지, 연구실에 적용하는 범위로 ISO 7730⁽⁶⁾의 부속서 A에서 정의하고 있다. 또한 착의량은 1.0 clo로 일반적인 학교 환경에 적합한 상태로 속옷, 난방, 스웨터, 바지, 양말을 신은 상태로 가정하였다. ISO 7730에서 PMV의 최적범위는 -0.5~+0.5로 권장하고 있다.

PMV은 온도와 습도 및 복사열, 기류 등에 복합적으로 영향을 받게 된다. 따라서 실제 가습 조건을 변화시키는 실험을 수행하였으나 가습 조건에 의해 실내의 온도, 복사 조건도 달라진다. 또한 환기시스템의 가동 유무에 따라서도 실내의 기류분포, 온도, 습도, 복사열 상태는 달라진다. 따라서 각case는 가습의 정도에 따라 각 시스템의 변화를 포함한 재실영역의 최종적인 PMV를 측정하였다.

Fig. 3은 Case별 측정지점의 PMV를 나타내고 있다. 환기시스템의 가동유무에 따른 PMV의 변화는 Case 1과 Case 4를 비교 분석함으로써 파악할 수 있다. Case 1의 경우 (6), (7), (10)과 같은 국지적인 지점에서 기준을 벗어나 약간 더운 상태를 나타내고 있다. 각각의 위치는 비교적 기온이 높게 상승하는 영역이다. 그에 반해서 환기시스템을 가동하지 않을 경우 재실영역의 온도가 상승하면서 전체영역에서 권장하는 범위를 벗어나고 있다. 환기를 할 경우 실내의 공기와 실외의 공기를 교체하고 또한 실내에 기류를 형성하면서 실내의 공기 조건을 보다 호조건으로 개선하는 역할을 할 수 있다.

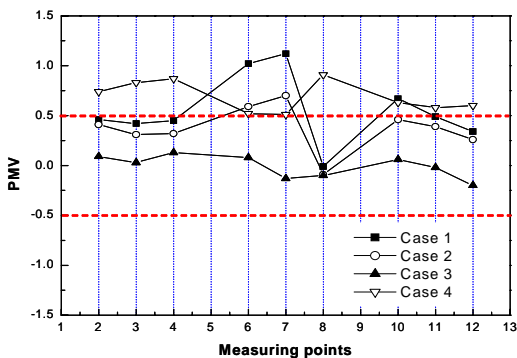


Fig. 3 Measuring points of PMV at case 1~4.

가습에 의한 PMV의 변화는 Case 1, Case 2, Case 3을 비교 분석함으로써 파악할 수 있다. 최적의 조건은 Case 3으로서 상대습도 60%로 가습을 실시한 경우이다. 충분한 가습이 이루어지면 국부적으로 더운 영역이 없어지고 재실영역 전체가 ISO 7730에서 권장하는 기준을 만족하고 있다. Case 1 과 Case 2를 비교하면 기준치를 벗어나는 최대 값에서 차이를 보인다. Case 2의 경우 상대습도 40%의 가습이 이루어지면서 가습에 의한 열의 이동과 국부적인 가열을 막음으로써 최대 PMV 값이 0.70인데 비해 Case 1의 경우 1.12로 국소적으로 보다 높은 불쾌감을 만들고 있다. 따라서 가습을 통해서 재실공간의 열적 안정화를 가져올 수 있으며, 쾌적도 측면에서도 가습을 실시하는 것이 유리하며, 본 실험에서는 상대습도 60%로 가습하는 것이 최적으로 나타났다. 반면 가습을 하지 않고 환기시스템을 가동하지 않은 경우(가장 일반적인 경우)가 실내가 가열되면서 전체적으로 권장치를 넘어서는 약간 더운 영역을 형성하고 있다.

본 실험을 통해 재실영역의 쾌적도를 향상시키는 중요한 요소로 환기와 가습의 영향을 살펴본다. 보다 나은 실내의 쾌적도를 유지하기 위해서는 기본적으로 환기는 반드시 이루어져야 되며, 상대 습도 60% 수준의 가습을 통해 최적의 쾌적도를 조성할 수 있다.

4.3 환기에 따른 교실내 CO₂ 농도 변화

시간에 따른 실험 교실의 CO₂ 농도는 (5) 지점에서 이루어졌다. 교실내 CO₂ 농도의 경우 가습과는 무관할 것으로 생각된다. CO₂ 농도는 환기량과 CO₂ 발생원에 의존하는데, 본 실험에서 환기량을 결정하는 것은 환기시스템의 가동 유무가 되고, CO₂ 발생원으로는 재실자의 수가 되겠다.

Fig. 4은 각 Case에 따른 실내 CO₂ 농도 변화를 나타낸다. Case 1, Case 4는 환기시스템 가동 유무에 따른 CO₂ 변화를 잘 보여주고 있다. 환기시스템을 가동하였을 경우(Case1) 기준치 이하의 농도를 지속적으로 유지하고 각 쉬는 시간에 소폭의 감소를 보이고, 점심시간(180분)을 기준으로 급격히 감소한다. 환기시스템을 가동할 경우 전체적으로 기준치를 만족하고 있다. 그러나 환기시스템을 가동하지 않은 경우(Case 4) 학교 교실

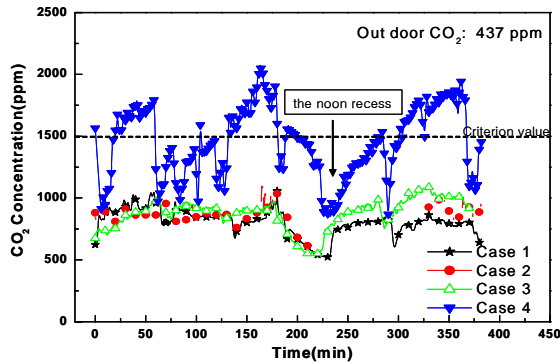


Fig. 4 Variation of the indoor CO₂ concentration with time at case 1~4.

의 기계환기 기준인 1500 ppm을 초과 하는 것을 알 수 있다. 재실자의 수에 따라서도 CO₂ 농도는 변한다. 실제 Case 3이 이루어진 날 오후에는 재실인원이 4명 증가하여 700 ppm 수준이던 실내 공간의 CO₂ 농도가 1000 ppm까지 상승하였다. 그러나 기준치는 넘지 않았다.

4.4 환기에 따른 총부유분진 농도 변화

Fig. 5은 시간에 따른 실험 교실의 총부유분진 농도에 대하여 (5)지점에서 측정한 결과를 보여 주고 있다. 총부유분진 농도의 경우 가습에 따른 변화를 분석하기는 불가능하였다. 가습기에서 발생하는 액적의 영향으로 계측기에서 계측되는 총부유분진농도가 급증하였다. 이는 우리 눈에는 잘 보이지 않는 가습기에 의해 생성된 액적을 계측기는 구별 할 수 없어 실제 대기분진과 동일하게 측정하기 때문이다. Case 1과 Case 4은 환기시스템의 가동 유무에 따른 총부유분진의 농도 변화를 보여주고 있다. 환기시스템을 가동할 경우가 평균 0.260 mg/m³ 인데 반해 환기시스템을 가동하지 않았을 경우가 0.287 mg/m³으로 약 10% 가량 높게 나타났다. 실외의 총부유분진농도는 주위 여건에 따라 크게 달라지지만 실외의 공기가 환기용 필터를 거치면서 일정 부분 부유분진이 제거되고 난 후 실내로 유입되므로 일반적으로 환기시스템을 가동하였을 경우가 보다 낮은 총부유분진 농도를 나타낸다. 본 연구에서 외기의 총부유분진농도는 70 µg/m³으로 측정되었다.

5. 결 론

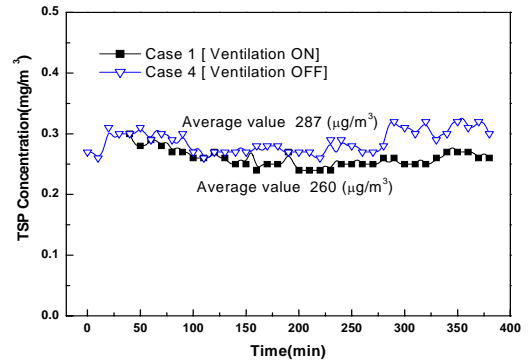


Fig. 5 Variation of the indoor TSP concentration with and without ventilation.

본 연구에서 겨울철 환기시스템 및 시스템어컨을 설치한 학교 강의실을 대상으로 가습 및 환기 유무에 따른 실내 쾌적도 및 공기질의 평가를 위해 온도, 습도, CO₂ 농도, 총부유분진의 농도 및 PMV의 분석을 통해 다음과 같은 결론을 도출하였다.

(1) 학교 교실의 실내온도 분포는 환기시스템을 가동하지 않을 때가 환기시스템을 가동할 경우보다 2~3℃ 정도 더 높게 나타나고 있다. 이는 교실내의 실내 공기질 유지를 위해서는 환기 부하를 고려하여 냉난방기를 설치하여야 함을 나타낸다. 교실 내에 가습을 실시할 경우 지역적인 습도의 차이가 나타나지만 시간에 따른 온도 변화는 가습을 실시하지 않을 때보다 완만하게 변화한다. 지점별 습도의 차이는 가습기의 설치 위치에 기인한 것으로 판단되며, 온도 변화의 감소는 상대적으로 액적의 기화열에 의해 온도 변화가 줄어드는 것으로 생각된다.

(2) 실내의 쾌적도는 환기시스템의 가동 유무에 따라 큰 차이를 나타내었다. 환기시스템의 가동은 외기를 실내로 공급하면서 실내의 온도를 낮추고 기류를 통해 실내 공기를 혼합하게 된다. 본 실험에서는 환기를 하지 않았을 경우가 환기를 실시하였을 경우 보다 전체적으로 높은 PMV 값을 나타내고 있다. 이는 온도분포에서와 같이 각 지점의 온도가 환기를 실시하지 않았을 경우가 실시하였을 때보다 높게 형성되고, 모든 지점에서 0.5를 초과하고 있어 열적 쾌적상태를 벗어나고 있다.

(3) 가습의 정도에 따른 실내의 쾌적도는 상대 습도가 증가할수록 쾌적한 범위를 벗어나는 지역이 줄어들고 있으며 상대습도가 60% 일 때 전체 영역에 걸쳐 쾌적한 것으로 나타나고 있다. 이는 냉난방기, 환기시스템 및 가습이 동시에 운전될 경우가 가장 양호한 열적 평형상태를 유지하고 쾌적도가 높다는 것을 의미한다. 따라서 동절기 학교 교실에 있어 쾌적도 향상을 위해서는 냉난방기 및 환기와 더불어 부족한 추가 가습을 통해 실내 공기질과 쾌적도를 높일 필요가 있다고 판단된다.

(4) 실험 교실의 CO₂ 농도 변화는 가습의 유무와는 무관하며 환기의 유무와 재실자의 호흡에 의한 CO₂ 공급에 의해 결정되며 환기시스템을 가동하지 않을 경우 재실 인원 25명에서 기준치인 1500 ppm을 초과하는 것으로 나타났다. 총부유분진농도는 환기시스템을 가동하지 않을 경우보다 가동했을 때 10% 가량 감소하였다.

후 기

본 논문은 LG전자(주)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Teodosiu, C., Hohota, R., and Rusaouen, G., 2003, Numerical prediction of indoor air humidity and its effect on indoor environment, *Building and Environment*, Vol. 38, pp. 655-664.
2. Han, C. W., Noh, K. C., and Oh, M. D., 2006, Comparison of the PMV and CO₂ concentration characteristic in the lecture room with a different airflow rate of the ventilation system and heating system for heating season, *Proceedings of SAREK*, pp. 411-416.
3. Kim, D. G., Kum, J. S., and Choi, K. H., 1998, Effects of relative humidity on comfort sensation by comparison between the young and the aged, *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 10 No. 4, pp. 381-388.
4. Janssen, J. E. and Hill, T. J., 1982, Ventilation for control of indoor air quality : A Case Study, *Environment International*, Vol. 8 pp. 487-496.
5. Shin, H. S., Lee, J. K., and Ahn, Y. C., 2005, Measurement of indoor air quality for ventilation with the existence of occupants in Schools, *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 19, No. 4, pp. 1001-1005.
6. ISO 7730, 2005, Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.