

교실 규모에 따른 난방 공조환경 평가에 관한 연구

— 천장형 냉난방기의 취출온도를 중심으로 —

최 정 민[†], 김 용 이^{*}, 박 효 석^{**}

창원대학교 건축학부, 군산대학교 건축공학과, 경상남도 창원시 교육청

A Study on the Evaluation of Heating-Conditioned Environment with the Size of Classroom

— Focused on Inlet Temperature of Ceiling Type Air-Conditioning System —

Jeong-Min Choi[†], Yong-Yee Kim^{*}, Hyo-Suk Park^{**}

School of Architecture, Changwon National University, Changwon 641-773, Korea

^{*}Department of Architectural Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

^{**}Gyeongsangnam-do Changwon Office of Education, Changwon 641-708, Korea

(Received July 28, 2003; revision received October 21, 2003)

ABSTRACT: As the desire for a better condition in classroom increases, the distribution rate of warming and cooling conditioners increases. But it is known that according to the way by which the equipments put and are operated the comfortableness felt by persons who are in classroom can make a difference. Therefore, proper equipments in accordance with the size of classroom should be considered as well as operational methods when ceiling warming and cooling conditioners put. This study makes conclusions as follows through a simulation to get improvements in accordance with the size of classroom and to improve the heating performance of ceiling warming and cooling conditioners in classroom.

Key words: Ceiling type air-conditioning system(천장형 냉난방기), Heating-conditioning(난방 공조), Inlet temperature(취출온도), Classroom(교실)

기 호 설 명

A_c : 대류열전달률 [$\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

K_w : 열관류율 [$\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C}$]

T_p : 벽 근처 셀의 온도 [$^\circ\text{C}$]

T_w : 내벽 표면온도 [$^\circ\text{C}$]

T_o : 실외온도 [$^\circ\text{C}$]

1. 서 론

학교시설 현대화 계획에 따라 에너지의 효율적 이용과 쾌적한 학습환경의 구현을 위해 일련의 노력들이 진행되고 있다. 그러나, 지금까지는 실내 환경의 전반적인 쾌적성 측면보다는 에너지 절약만을 강조하여 실온이나 기류의 속도 등의 영향을 종합적으로 고려한 교실 학습환경 구현은 아직까지 미비한 실정이다. 이에 교육인적자원부에서는 학교시설에 적합한 냉난방시설 모형을 개발하기 위한 여러 연구를 수행하여 천장형 냉난방기를 그 모형 가운데 하나로 제시한 바 있다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-55-281-7994; fax: +82-55-285-1120

E-mail address: jmchoi@sarim.changwon.ac.kr

1997년 9월 이후에 시행된 학교시설 설비기준령에 의해 기존 학교시설에 대한 기준 완화와 업무 위임을 통해 교실의 융통성을 추구할 수 있게 되었다. 동시에 교실 건축면적의 최소기준을 1학급당의 개념에서 학생 1인당의 개념으로 전환시켜 다양한 규모의 교실이 계획될 수 있었다. 이에 각 교실별 규모에 따라 천장형 냉난방기에서 취출되는 공기의 온도를 검토하여 재실자의 쾌적성을 높일 수 있는 설계지침 및 운영방안의 제시가 절실하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 K도 고등학교를 대상으로 가장 일반화된 교실 규모 3가지 유형을 추출하여, 이 교실들에 대해 천장형 냉난방기 설치 및 운영시 난방 취출온도가 교실 실내공조환경에 미치는 영향을 분석하여 운영방안을 제시하고자 한다.

2. 예비적 고찰

2.1 천장형 냉난방기

일반적으로 기존건물의 경우 외주부 창측 하단에 방열기 등 난방장치를 설치하여 콜드드래프트 현상을 방지하고 실내 열환경을 쾌적하게 유지하도록 계획되어 있다. 그러나 기존 교실의 경우 방열기 상부에 창턱이 있어 콜드드래프트 방지에 불리할 뿐만 아니라 창측의 재실자만이 방열기에 의한 영향을 받기 쉽고, 고온수난방 및 증기난방의 경우에는 교실의 창측 부분만이 과열되기도 한다. 또한 복도와 접한 부분은 온도가 낮은 부



Fig. 1 Photograph of the classroom with ceiling type air-conditioning system.

도측 공기가 단열이 안된 간막이벽과 창을 통해 유입되어 온도가 낮아지는 등의 열적 불균형현상도 발생한다. 특히 학교의 이용시간대가 주로 주간에 한정하므로 창측 부분에는 일사의 영향까지 더해져 이러한 불균형현상이 가중되고 있다.

학교건물의 불균등 난방실태를 개선하기 위한 방안으로 Fig. 1과 같이 천장형 냉난방기의 설치가 고려되고 있으며, 천장형 냉난방기는 천장에서 4면으로 취출됨으로써 교실 전체에 골고루 난방이 되고 쾌적한 학습공간을 만들어 주는 것으로 보고되어 현재 천장형 냉난방기기의 설치가 늘어나고 있는 추세이다.

2.2 교실의 규모 및 형상

K도 소재 고등학교의 경우, 보통교실 규모는 가장 작은 $8.1\text{ m} \times 7.5\text{ m} = 60.75\text{ m}^2$ 으로부터 시작하여 $9.0\text{ m} \times 15\text{ m} = 135\text{ m}^2$ 까지 모두 48종의 교실이 분포하고 있다. 그러나, 과거의 시설기준령에 따라 지어진 교실들의 규모는 학교표준도면에 의해 그 크기가 획일화되어 있다.

표준교실이라 지칭되는 9.0 m (창측 길이) \times 7.5 m (칠판측 길이) $= 67.5\text{ m}^2$ 크기 교실이 62.1%를 차지하고 있으며, 표준교실 크기의 0.5배인 4.5 m (창측 길이) \times 7.5 m (칠판측 길이) $= 33.75\text{ m}^2$ 의 교실은 15.6%, 표준크기의 1.5배인 13.5 m (창측 길이) \times 7.5 m (칠판측 길이) $= 101.25\text{ m}^2$ 의 교실은 5.2%를 차지하고 있다. 따라서 상기 3가지 규모의 교실 수가 전체 교실 수의 82.9%를 차지하고 있다.

3. 온도 및 기류해석을 위한 평가조건

3.1 해석대상 및 평가요소

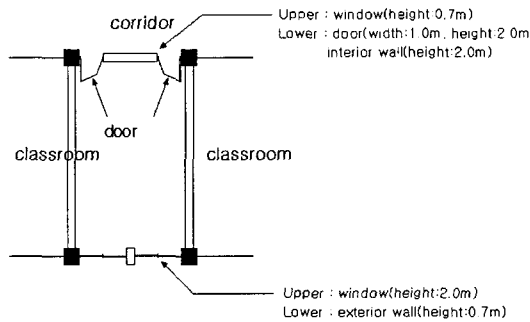
전술한 바와 같이 3가지 규모의 교실 수가 전체 교실 수의 82.9%를 차지함으로써 본 연구에서는 Table 1과 같이 교실 규모를 설정하였다. Geo-1은 가장 작은 공간으로 표준크기 공간의 0.5배

Table 1 Classroom size and area

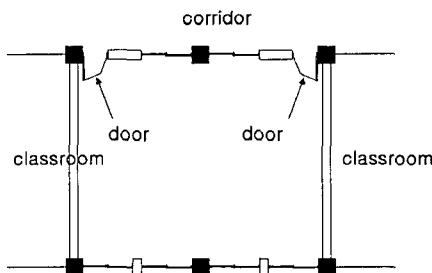
CASE	Window side length \times Blackboard side length	Area (m^2)
Geo-1	4.5 \times 7.5	33.75
Geo-2	9.0 \times 7.5	67.5
Geo-3	13.5 \times 7.5	101.25

공간, Geo-2는 가장 일반적인 표준크기의 공간, Geo-3는 가장 큰 공간으로 표준크기 공간의 1.5 배 공간으로 하여 연구대상으로 선정하였다. 해당 교실의 천장높이는 3가지 교실 모두 2.7m로 동일하게 가정하였고, 이 가운데 교실의 평면구성은 Fig. 2와 같다.

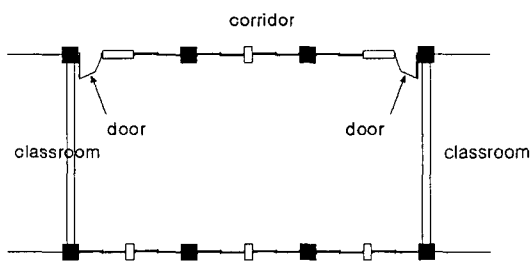
교실에서의 쾌적한 환경유지를 위한 난방계획은 실내 거주역에서 균일한 실온분포와 적절한 기류속도가 유지되도록 이루어져야 한다. 이에 본



(a) Plan of classroom (Geo-1) with 0.5 times standard size



(b) Plan of classroom (Geo-2) with standard size



(c) Plan of classroom (Geo-3) with 1.5 times standard size

Fig. 2 3-Type classroom sizes for numerical analysis.

연구를 위해 선정된 Table 1의 3가지 교실에 대해 수치해석을 수행하여, 이상의 교실에서 난방시 취출공기의 온도인자가 실온의 분포, 기류의 흐름, 세기 등에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

3.2 시뮬레이션 조건

교실에서 난방이 설정온도에 대하여 연속 운전이 이루어지고 있는 동안, 난방 취출온도가 실내 환경에 미치는 영향을 교실 규모에 따라 분석하기 위하여 기류해석 시뮬레이션은 정상상태로 가정하여 Fluent로 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션은 난방운전에 대해 수행하였으며, 변화인자는 공간크기별 취출온도 변화를 중심으로 검토하였다. 취출각도와 풍량은 각각 45°, 23 m³/min으로 고정하여 수행하였으며 사용된 계산 조건의 상세사항은 Table 2와 같다. 구조체에 의한 경계조건은 다음의 식에 의해서 계산되도록 설정하였다.

$$Q_c + Q_l = 0 \tag{1}$$

$$Q_c = A_c(T_p - T_w) \tag{2}$$

$$Q_l = K_w(T_o - T_w) \tag{3}$$

Table 2 Parameters for inlet temperature calculation

CASE	Variation of inlet temperature
Geo-1	30°C, 33°C, 36°C, 39°C
Geo-2	36°C, 39°C, 42°C, 45°C
Geo-3	39°C, 42°C, 45°C, 48°C

- 1) Inlet angle : 45° (fixed)
- 2) Air flow rate : 23 m³/min

Table 3 Boundary condition

Category	Input data
Outside air temperature	-11.3°C TAC 2.5%
Construction condition (K-value)	Exterior wall : 0.57 W/m ² °C Roof, floor : 0.37 W/m ² °C Window : 3.26 W/m ² °C Interior wall : 3.49 W/m ² °C Door : 5.93 W/m ² °C
Ventilation rate	2 ACH

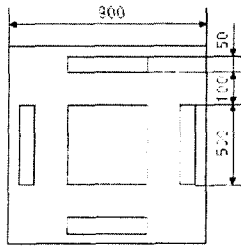


Fig. 3 Ceiling type air-conditioning system for simulation.

구조체 온도에 대한 벽 처리조건은 건물의 열관류율을 참고로 선정하였으며 사용된 계산조건은 Table 3과 같다. 교실은 중간층을 대상으로 하였으나 칠판층 양옆 실조건도 동일교실이나 기타 다른 공간에 다양하게 인접할 수 있으므로 비난방시의 온도조건으로 가정하여 양옆 교실 및 위층, 아래층 교실은 난방하지 않는다는 조건으로 계산을 수행하고 인접실의 온도는 외기온도와 실내온도의 중간영역인 5.2℃로 하였다. 계산에 사용된 천장형 냉난방기 모델의 형태는 Fig. 3과 같으며, 경계조건으로서 급기는 카세트 사각형의 4곳, 배기는 중앙의 흡입그릴로 배기조건은 압력조건을 주었다.

환기조건은 교실에서 쉬는 시간에 학생들의 출입에 의한 실외공기의 실내유입이 상당하고 이것은 궁극적으로 온도부하로 작용하게 되므로 이를

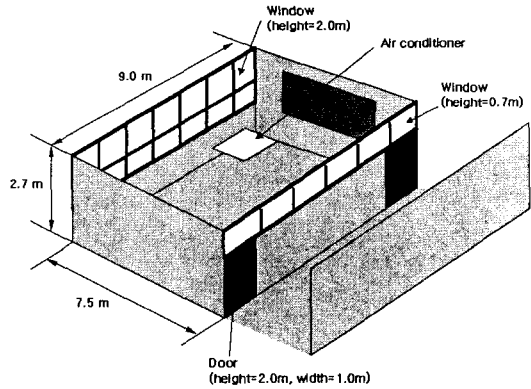


Fig. 4 Isometric drawing of Geo-2 classroom.

고려하기 위해 시간당 2회의 환기풍량을 설정하여 온도방정식의 발열항(source term)에서 온도부하(열량)를 빼주었다. Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6은 해석대상 교실 중 Geo-2의 3차원 아이소메트릭 형상과 단면 및 각부의 단면상세이다.

이상의 내용을 종합하여 사용된 그리드시스템은 Fig. 7에 나타내었다.

시뮬레이션 결과의 평가기준은, 천장형 냉난방기의 운전조건 변화, 즉 취출온도 변화가 교실크기에 따라 실내환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여 해석대상 수직단면 및 수평단면의 기류분포와 온도분포에 대하여 분석하였다. 수직단면의 위치는 교실 중앙에 위치하며 외벽(또는 복도벽)

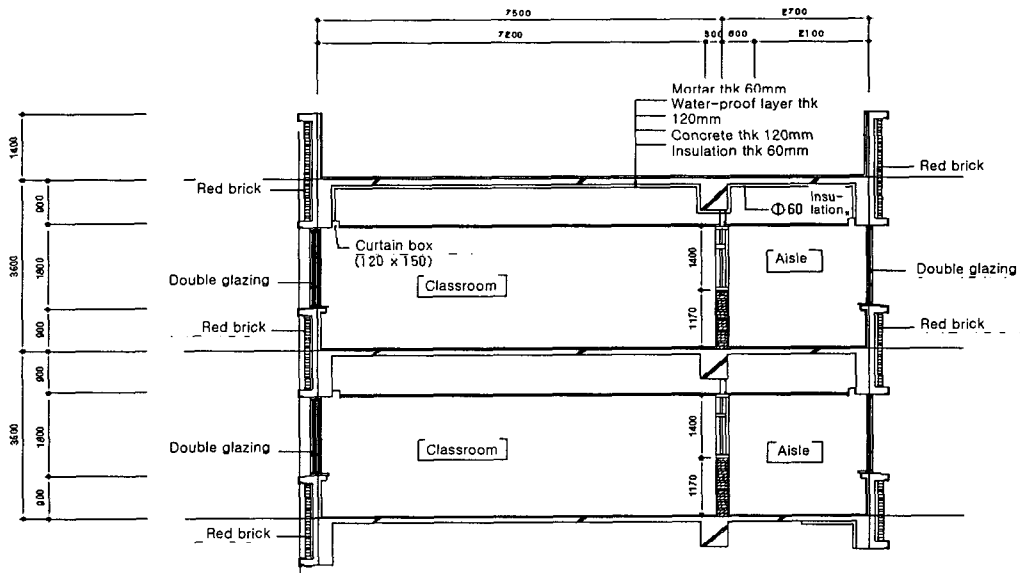


Fig. 5 Section of classroom.

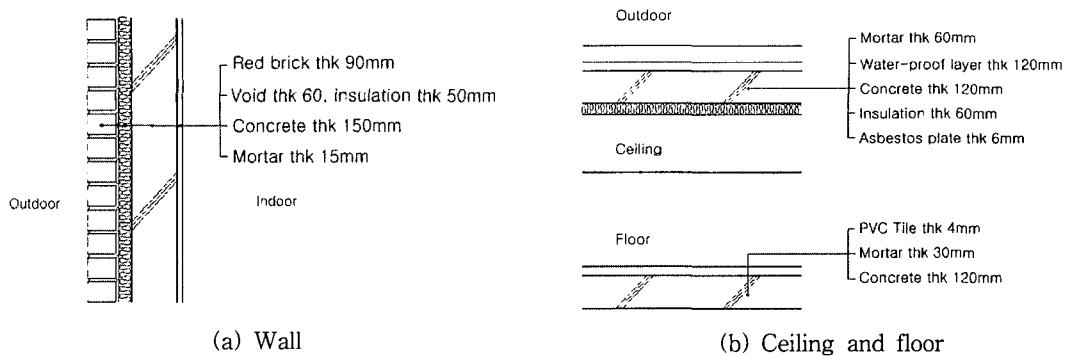
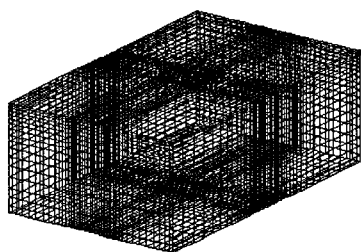
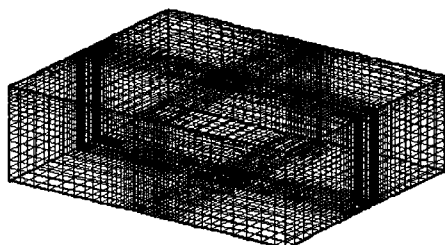


Fig. 6 Detail of structure.

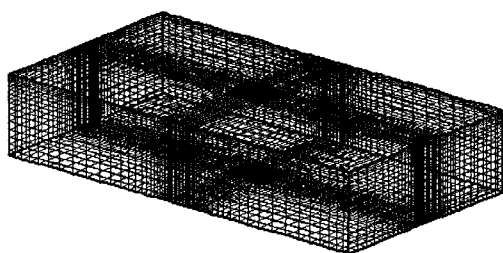
에 평행한 단면을 선정하였으며, 수평단면의 위치는 재실자의 호흡선 또는 머리위치에 해당되는 바닥에서 1.1 m 높이로 설정하였다.



(a) Geo-1 grid system



(b) Geo-2 grid system



(c) Geo-3 grid system

Fig. 7 Grid system for numerical analysis.

4. 교실규모에 따른 온도, 기류환경 고찰

4.1 실내 평균 온도

규모가 다른 3종류의 교실에 대하여 취출온도를 변화시켰을 때 실내 평균 온도는 Fig. 8과 같이 나타났다. 취출온도 변화에 대해 실내 평균 온도 변화는 공간크기에 상관없이 선형적으로 변화하였다. 직선의 기울기는 작은 규모의 교실에 비해 큰 규모의 교실에서는 조금 완만한 기울기를 나타내었으나 그 차이는 아주 작았다. 적정 실내온도를 21~23℃로 설정하면, 교실 규모에 따른 적정 취출온도는 Geo-1의 경우 31.4~34.4℃, Geo-2의 경우 38.3~42.0℃, Geo-3의 경우 45.1~49.2℃로 나타났다. 계산에서 채택한 취출풍량은 표준공간에서 사용되는 천장형 냉난방기의 풍량으로 선정하였기 때문에 Geo-1의 취출온도는 다소 낮게 나타나고 Geo-3의 경우 다소 높게 나타났다.

4.2 실내온도분포 및 기류분포

취출공기온도에 의해서 실내온도분포의 경향성

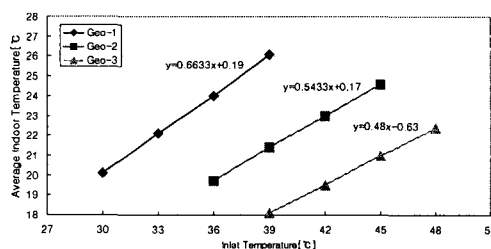


Fig. 8 Inlet temperature and average indoor temperature according to the classroom size.

Table 4 Inlet temperature

Case	Inlet temperature
Geo-1	32.9°C
Geo-2	40.2°C
Geo-3	47.1°C

* Comfort inlet temperature is calculated after supply air temperature variation.

을 파악하기 위하여 취출온도는 변화시키고 취출 각도는 45°로 일정하게 설정하였다. 공간별 취출 온도의 설정에 있어서는 실제 사용자가 천장형 냉난방기의 취출온도를 설정하는 것이 아니라, 희망하는 실내온도를 설정하면 천장형 냉난방기는 적정 취출온도로 운전되는 상황을 반영하여 결정하였다. 즉, 공간별 취출온도는 사용자가 실내적정온도를 22°C로 설정하였다고 가정하여 그것에 맞는 취출온도를 선정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 취출온도의 선정방법은 Fig. 8에 나타낸 관계식을 사용하였고 적용된 취출온도는 Table 4와 같다.

4.2.1 수직단면 기류분포

교실규모에 따른 수직단면의 기류분포는 Fig. 9와 같이 나타났다. 본 계산에서 동일한 취출각도 45°를 적용하였으나, 기류분포가 공간크기에 따라 다른 형태를 나타내었다. 표준크기의 0.5배인 교실(Geo-1)의 경우 취출된 기류는 양측면의 벽을 타고 흐르고 있고 부력에 의한 기류현상은 나타나지 않았다. 표준크기의 교실(Geo-2)의 경우 0.5 m/s 이

상의 취출기류가 바닥 부근까지 도달되며 양측면에서 부력에 의한 약한 기류상승현상이 존재한다. 표준크기 1.5배 교실(Geo-3)의 경우 부력의 영향이 강하게 나타나 기류분포가 전체적으로 상부방향으로 향하고 있다. 이는 규모가 커질수록 난방부하가 증가하며, 취출공기의 온도가 높아지므로 공기의 부력이 가속되는 것으로 판단된다. 또한 공간의 크기가 작을 경우 기류분포에는 부력영향이 거의 나타나지 않으며 공간의 크기가 커질수록 도달거리가 길어지게 되므로 부력의 영향이 크게 나타난다.

4.2.2 수평단면 기류분포

Fig. 10은 교실규모에 따른 수평단면의 기류분포를 보여준다. 수평단면의 기류분포에서 좌우측은 대칭을 이루고 있고 위쪽(복도와 만나는 부분)과 아래쪽(외부와 만나는 부분)의 기류분포는 비대칭을 이루고 있다. 좌우측은 옆교실에 해당되므로 동일한 관류부하(현재의 계산은 난방하지 않는 상황으로 설정)가 발생하며, 좌우대칭의 기류분포가 나타났다. 위쪽과 아래쪽의 비대칭은 복도와 외기에 의한 관류부하가 다르므로 그에 따라 기류분포도 비대칭성을 나타냈다. 가장 큰 비대칭성을 나타내는 것은 공간이 작은 Geo-1의 경우이었다. 즉 규모가 작은 경우 외기에 면한 벽의 관류부하를 통하여 기류분포가 쉽게 영향을 받을 수 있다. 따라서 난방운전시 기류분포의 비대칭성을 개선하기 위하여 좌우풍량, 풍속 등에 대해서 고려해야 할 것으로 사료된다.

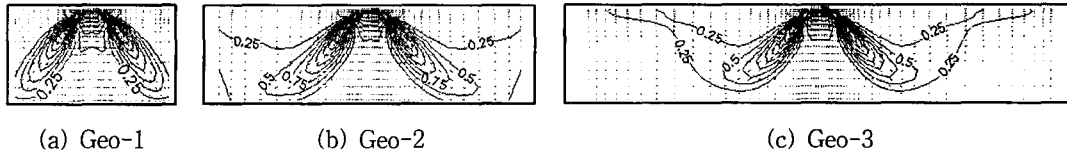


Fig. 9 Vertical section velocity distribution according to the classroom size.

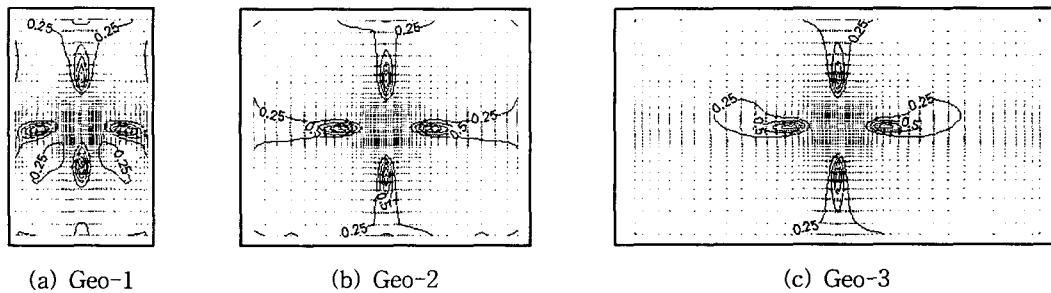


Fig. 10 Horizontal section velocity distribution according to the classroom size.

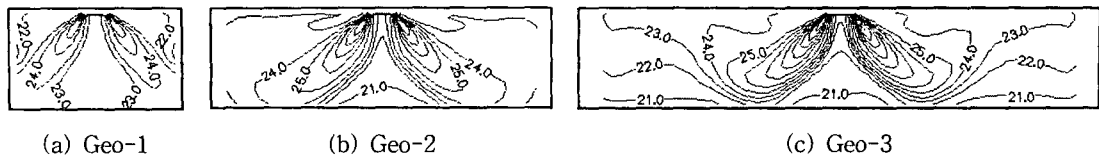


Fig. 11 Vertical section temperature distribution according to the classroom size.

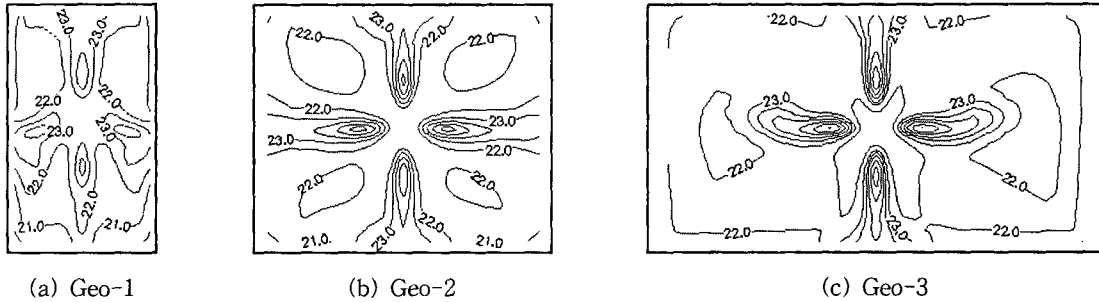


Fig. 12 Horizontal section temperature distribution according to classroom size.

4.2.3 수직단면 온도분포

Fig. 11은 교실규모별 수직단면 온도분포와 수직단면에서 거주역(높이 1.1 m 이하) 부분에서 온도범위를 분포율로 나타내었다. 수직단면의 온도분포 형태는 기류분포에서 나타난 현상과 동일한 현상이 나타났다. 즉, 교실 규모가 작은 경우 부력영향은 거의 나타나지 않고 교실 규모가 큰 경우 부력영향을 받아 온도분포는 좌우 측면에서 특히 상부 쪽으로 치우쳐 나타나고 있다.

4.2.4 수평단면 온도분포

교실 난방시 교실규모별 수평단면의 온도분포는 Fig. 12와 같이 나타났다. 수평단면의 기류분포에서 나타났던 상하부의 비대칭성이 온도분포에서 나타남을 확인할 수 있다. 온도분포의 비대칭성이 가장 크게 나타난 것은 기류분포에서와 같이 가장 작은 규모의 교실이었다. 수평단면 온도분포에서 가장 낮은 온도는 하부(외부와 접하고 있는 창문 근처)에서 나타나고 있으며, 특히 Geo-1의 경우가 낮은 온도영역이 가장 넓게 나타났다. 즉, 외기에 의한 부하 영향을 가장 심하게 받는 교실 규모가 표준공간보다 작은 Geo-1임을 수평 온도분포에서도 확인할 수 있다.

5. 결론 및 제언

본 연구에서는 학교 교실을 중심으로 교실 규

모에 따른 난방시의 취출온도를 중심으로 한 운용방안 검토를 목적으로 수행하였으며 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 규모가 다른 3종류의 교실 규모에 대하여 취출온도를 변화시켰을 때 실내 평균 온도 변화는 Fig. 8과 같이 공간크기에 상관없이 선형적으로 변화하며, 직선의 기울기는 작은 공간에 비해 큰 공간의 경우가 조금 완만한 기울기를 나타내었으나 그 차이는 아주 작았다.

(2) 적정 실내온도를 21~23℃로 설정할 때 공간크기에 따른 취출온도는 표준규모의 절반인 교실의 경우(Geo-1) 31.4~34.4℃, 표준규모의 교실인 경우(Geo-2) 38.3~42.0℃, 표준규모의 1.5배인 경우(Geo-3) 45.1~49.2℃로 나타났다. 이는 표준공간에서 사용된 천장형 냉난방기의 취출풍량을 선정하였기 때문이며, 이에 따라 Geo-1의 취출온도는 다소 낮게 나타나고 Geo-3의 경우 다소 높게 나타났다.

(3) 교실내 온도분포의 경향성을 파악하기 위해 공간별 취출온도를 실내 적정 평균 온도 22℃로 동일하게 맞추는 취출온도를 선정하여 계산을 수행한 결과, 실내 평균 온도는 동일하지만 실의 크기에 따라 온도, 기류분포는 다르게 나타나고 있었다. 즉, 교실 중앙 수직단면의 온도, 기류분포는 공간의 크기가 커짐에 따라 부력의 영향을 더욱 크게 받으며 따라서 온도 및 기류분포는 공간이 커짐에 따라 위쪽으로 상승하는 성향을 나

타내고 있었다. 바닥 1.1 m 높이 수평단면의 온도와 기류분포는 온도부하에 따라 비대칭성이 존재함을 알 수 있었으며, 비대칭성은 공간이 작을수록 증가하는 경향을 나타내고 있었다.

본 연구에서는 난방시의 취출온도를 대상으로 하였으나, 취출각도와 풍량, 그리고 내부발열 및 인접실 조건의 차이 등에 대한 추가적인 검토와 함께, 냉방시의 운영방안에 대한 연구도 추후 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Norbert Lechner, 1991, Heating, Cooling, Lighting Design Methods for Architects, John Wiley & Sons, Inc., pp. 172-200.
2. Hanmi, Inc., 1986, Calculation Method of HVAC by Personal Computer, Hanmi, Inc., pp. 46-68.
3. ASHRAE, 1997, ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals, SI edition, ASHRAE, pp. 27.1-27.42.
4. Vaughn Bradshaw, 1993, Building Control Systems, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 133-212.
5. William, K. Y. Tao, Richard R. Janis, 2001, Mechanical and Electrical Systems in Buildings, Second Edition, Prentice Hall, Inc., pp. 35-46.
6. Ministry of Education & Human Resources Development, 2000, A Study on Model of Heating and Cooling Systems for Energy Conservation in School Buildings.
7. KIER, 2000, New Technology for Energy Conservation in School Buildings.
8. Kyungsangnam-Do Office of Education, 2000, Educational Yearbook, Vol. 143.
9. Ministry of Education & Human Resources Development, 1998, Feasibility and Guide of Energy Conservation Business in Educational Buildings.
10. Ministry of Education, 1990, Management Guideline of Heating facilities in Elementary and Middle Schools.
11. Kyungsangnam-Do Office of Education, 2000, Yearbook of Educational Statics.
12. MOCT, 2001, Regulation on Criteria of Building Facilities.
13. MOCIE, 1998, Optimization of Energy Related Facilities in Educational Buildings.
14. KIER, 2001, Evaluation of Applicability of Heating and Cooling System in School Buildings.
15. Busan Metropolitan City Office of Education, 2001, Reports on Installation of Heating and Cooling System in Schools.
16. Seo, S. J., 1998, Mechanical and Electrical in Buildings, Ijjin Press.
17. Korean Standards Association, 1999, KS Air Conditioner KSC9306-1999.
18. Song, S. Y. 1994, A Study on the Optimum Perimeter Depth in view of Indoor Air Temperature and Velocity Distribution, MS thesis, Seoul National University.
19. Seok, H. T., 1995, A Study on the Development of Load Prediction Equation and Design Guidelines for the Energy Conservation of Office Buildings, Doctoral thesis, Seoul National University.
20. ASHRAE, 1983, Method of testing for seasonal efficiency of unitary air conditioners and heat pumps, ASHRAE Standard ANSI/ASHRAE 116-1983.
21. Tennekes, H. and Lumley, J. L., 1973, A First Course in Turbulence, The MIT Press, pp. 28-31.
22. Launder, B. E. and Spaiding, D. B., 1974, The numerical computation of turbulent flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, pp. 269-289.
23. Launder, B. E., Reece, G. J. and Rodi, W., 1975, Progress in the development of a Reynolds stress turbulence closure, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 68, pp. 537-566.
24. Rodi, W., 1976, A new algebraic relation for calculating the Reynolds stresses, Z. Angew. Math. Mech. 56, pp. 219-221.
25. Hinze, J. O., 1959, Turbulence, McGraw-Hill Book Company, pp. 377-384.