

난방공간에서 형상비에 따른 자연대류 방열기의 방열특성

성순경^{1*}

¹경원대학교 건축설비공학과

Heat Emission Characteristics on Natural Convection Radiator with Various Aspect Ratios in Heating Space

Sun-Kyung Sung^{1*}

¹Department of Bilding Equipment System Engineering, Kyungwon University

요 약 본 연구의 목적은 난방공간에서 자연대류 방열기를 통한 방출열량이 방열기의 형상에 따라 어떤 특성을 가지고 있는가 알기 위함이다. 이와 같은 전열특성을 알기 위하여 컴퓨터를 이용한 수치해석방법을 이용하였다. 방열기의 폭이 길고 높이가 낮은 경우 바닥 위 0.5 m에서 2.7 m까지의 온도차는 적음을 알 수 있다. 이는 다른 경우 보다 난방공간에 좋은 열환경 조건을 만들어 주는 것을 보여준다. 장래에 실험적인 방법을 통하여 본 컴퓨터 수치해석 결과의 타당성을 검증하고자 한다.

Abstract The objective of this study is to find heat emission characteristics on the natural convection radiator in a heating system when the aspect ratio of radiator is changed. In addition the computer simulation method is used in order to find the characteristics of heat transfer. When the width of the radiator is long and the height of radiator is short, the temperature difference from the floor level 0.5m to about 2.7m above the floor is small. It shows that thermal environment in heating space is good than the other case. For the future, I hope to compare the results between the computer simulation and experimental method for reliability.

Key Words : Natural Convection Radiator, Aspect Ratio, Heat Emission Characteristics

기호설명

g	: 중력가속도[m/s ²]
h	: 엔탈피[J/kg]
k	: 열전도율[W/(m·°C)]
p	: 압력[Pa]
δ	: 형상의 특성길이[m]
ρ	: 밀도[m ³ /kg]
v	: 동점성계수[m ² /s]
β	: 체적팽창계수[1/K]
A	: 면적[m ²]
T_s	: 표면온도[K]
T_∞	: 주위온도[K]

1. 서론

건물의 주위온도가 실내온도보다 낮게 되면 건물의 구조체와 환기를 통하여 열의 손실이 발생하게 된다.[1] 이때 실내에 거주하는 재실자의 쾌적한 온열감을 위하여 실내로 열을 공급하여 실내온도를 일정하게 유지하기 위하여 여러 가지의 난방 방식을 이용하고 있으며, 실내로 열을 어디에서 공급하느냐에 따라 직접난방방식과 간접난방방식이 있다.[2] 그중에서 가장 용이한 방법의 하나가 실내에 방열기기를 설치하여 실내로 열을 직접 전달하는 직접난방방식이다. 이 방식은 실내에 열을 방출하는 방열장치에 따라 자연대류방식, 자연대류복사 방식, 강제대류방식 그리고 복사방식 등이 있다.

직접난방방식을 사용할 경우 실내에 설치하는 방열기

본 논문은 경원대학교 지원에 의함.

*교신저자 : 성순경(sksung@kyungwon.ac.kr)

접수일 09년 11월 30일

수정일 (1차 09년 12월 15일, 2차 09년 12월 30일)

게재확정일 10년 01월 20일

의 종류, 방열방식, 형상에 따라 방열특성이 다르게 나타날 수 있다. 이 방열특성에 따라 실내 온도분포와 구조체를 통한 열손실에 영향을 미치게 되며 이에 따라 실내에 거주하는 사람은 온열환경 조건에 따른 쾌적함이나 불쾌감을 느끼게 된다.[3] 특히 실내의 상하 온도차가 1.5도 이상 차이가 나는 조건에서는 불쾌감을 느끼기 시작하며, 실내의 위 쪽에서는 외기와외 온도차가 크게 되어 건물의 열손실이 증가하여 에너지 손실을 가져오게 된다.[4]

선행 연구의 경우 대부분 방열기의 방열량 등에 대한 내용이고 형상비와 구조체를 통한 열의 손실이 있는 조건의 경우는 없으므로 본 연구에서는 직접난방방식에서 사용하는 자연대류 방열기의 가로와 세로의 비가 다른 경우 즉 형상비 변화에 따라 방열특성과 실내온도 분포 특성이 어떻게 나타나는가를 비교하고, 온열환경 조건에 적합한 형상비를 알고자 한다.[5]

2. 대상 공간과 해석모델

2.1 대상 공간과 방열장치

대류방열기의 형상변화에 따른 방열특성과 실내온도 분포 특성을 파악하기 위하여 그림 1과 같은 직육면체의 형상을 가진 건물을 대상으로 선정하였다. 이 건물의 가로, 세로, 높이는 각각 4.5 m, 6 m, 3 m인 경우로 하고, 외기에 면한 부분에는 가로 5.4 m, 세로 1.6 m의 크기를 가진 복층형 유리창이 설치되어 있으며, 창문 이외의 부분은 단열구조를 가진 벽체로 구성되어 있다. 이때 유리창의 열관류율은 3.8 W/m²K이고, 건축법을 참고하여 벽체의 열관류율은 0.5 W/m²K를 기준으로 하였다. 그리고 실내에 면한 다섯 면은 난방을 하는 인접실과 접한 면으로 가정하여 단열조건으로 하였다. 실에서의 열손실은 창이 있는 외벽과 창문을 통하여 발생한다.

실내에는 창문 바로 아래에 그림 1과 같이 두께 100 mm인 대류형 방열기를 벽면과 바닥으로 부터 각각 100 mm를 이격시켜 중앙에 설치하였으며, 가로와 높이는 한 쪽이 동일한 면적 0.7 m²를 가지고 있는 4가지 형상의 크기를 선정하였다. 4가지 형상의 가로, 높이의 치수는 각각 800×875, 875×800, 1000×700, 1400×500 mm로 하였다.

2.2 방열성능과 해석모델

평판형 자연 대류방열기의 전열량을 계산하기 위하여 수직, 수평 평판에서의 방열량 \dot{Q} [W]는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty) \quad (1)$$

$$h = Nu \frac{k}{\delta} \quad (2)$$

앞의 식에서 Nusselt 수는 조건에 따라 수직면일 때 식(3), 상향 수평면과 하향 수평면일 때 식(4),(5)와 같다.[6]

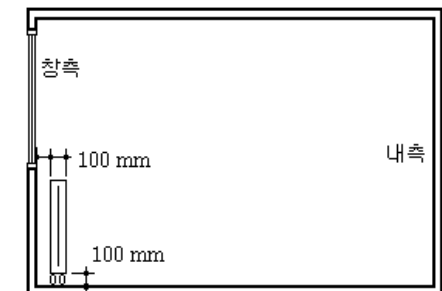
$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (3)$$

$$Nu = 0.54 Ra^{1/3} \quad (4)$$

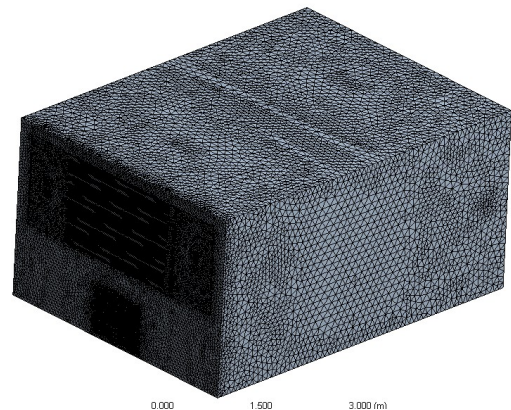
$$Nu = 0.27 Ra^{1/4} \quad (5)$$

앞의 식에서 Rayleigh 수는

$$Ra = Gr Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)\delta^3}{\nu^2} Pr \quad (6)$$



[그림 1] 자연대류식 방열기가 설치된 건물의 주단면도



[그림 2] 방열기 설치실의 메쉬 형상

실내에 설치된 대류방열기의 형상별 방열특성을 해석하기 위하여 방열기는 건물의 유리창 하부에 설치하고 표면으로부터 실내로 방열하며, 방열기 표면의 온도는 한국산업 규격의 방열기 성능시험방법에서 기준으로 삼고 있는 70 °C로 하였으며[7], 건물 외부의 온도 조건은 중부 지방에 설치된 것으로 가정하여 -10 °C로 하였다. 해석은 3차원 수치해석 방법으로 상용프로그램을 이용하였으며, 그림 2와 같은 형상의 비어물림 격자계로 육면체와 사면체가 조합된 하이브리드 격자방법을 이용하였다. 이때 약 162만개의 셀과 48만개의 노드로 이루어졌다. 수치해석은 정상상태로 계산하였으며, 운동량방정식의 압력항 처리는 압력수정방법을 이용하는 SIMPLE방법을 적용하여 압력수정에 관한 근사 이산화방정식을 압력과 속도의 상관관계를 고려한 연속방정식의 이산화방정식으로부터 구하였다. 난류모델은 SST모델을 사용하였다. 이때 대류방열기가 설치된 유리창 하부 주변과 방열기 주변은 자연대류에 의한 현상을 정밀하게 해석을 위하여 다른 부분보다 조밀한 격자로 구성하였으며, 벽면에서의 대류열전달 현상이 해석적으로 유효하도록 표면에서 첫 번째의 격자 두께를 0.002 m이내가 되도록 하였다.[8]

실내에 설치된 대류방열기의 유동과 방열성능에 대한 현상을 해석하기 위한 지배방정식은 식(9)~(11)과 같은 연속방정식, 운동량방정식, 에너지방정식이다.

$$-\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \tag{9}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ & + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + S_M \end{aligned} \tag{10}$$

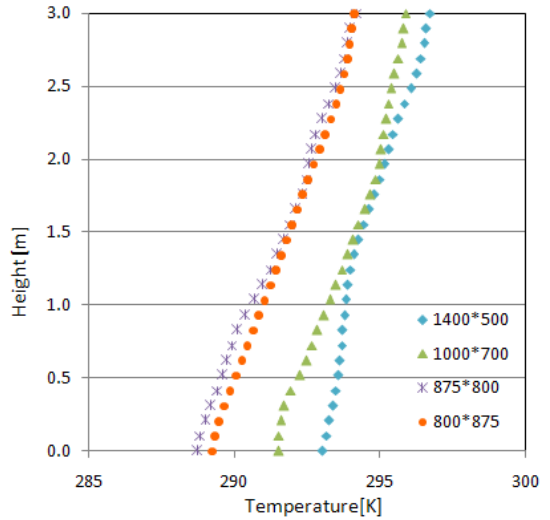
$$\frac{\partial u_j p h}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} k \frac{\partial T}{\partial x_j} + S_E \tag{11}$$

위 식에서 u_i 는 속도성분, p 는 압력, T 는 온도, S_M 은 운동량 생성항, S_E 는 에너지 생성항이다.

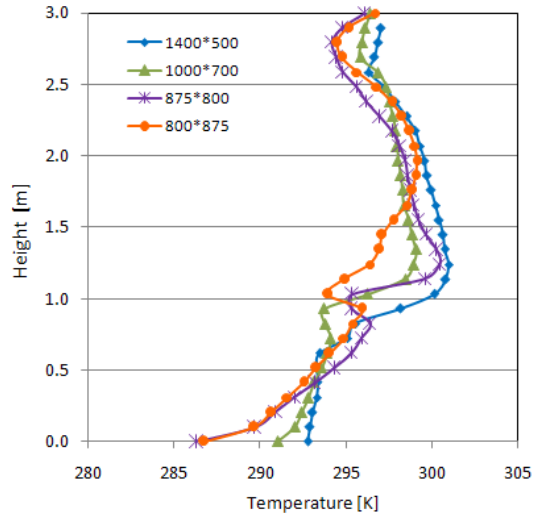
3. 해석결과 및 고찰

3.1 상하 온도분포 특성

그림 3은 대류방열기가 창측에 설치되어 있을 때 실의 정중앙에서 천장과 바닥면 사이의 상하온도 분포곡선을 나타낸다. 온도분포의 특성을 보면 방열기의 길이가 짧고



[그림 3] 실 중앙지점에서의 바닥에서 천장까지의 온도분포 선도



[그림 4] 창문 쪽 중앙단면의 바닥에서 천장까지의 온도분포 선도

높이가 높은 경우인 800×875나 875×800인 경우에 바닥면과 바닥면으로부터 1.5m인 지점에서 위아래의 온도차이가 2.6도 정도 발생함을 볼 수 있고, 천장까지의 온도차는 약 5도 정도까지 크게 나는 것을 볼 수 있다. 방열기의 길이가 길고 높이가 낮은 경우인 1000×700일 때 바닥면으로부터 1.5m인 지점까지 위아래의 온도차이가 2.3도이고 천장까지는 4.3도이며, 1400×500인 경우에는 1.1도와 3.7도로 각각 나타났다. 이를 통하여 방열기의 길이가 긴 경우에 위아래의 온도차가 줄어드는 것을 알 수 있다.

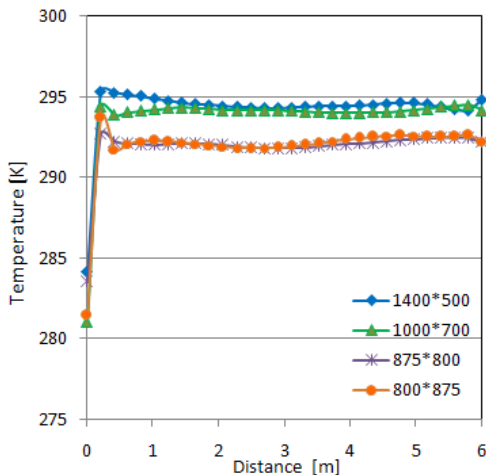
인체가 느끼는 온열감은 머리와 발과의 온도차이가 1.5도 이상으로 되면 불쾌감을 느끼게 되므로[1] 여기에서 방열기의 길이가 짧고 높이가 높은 경우에는 온열감에서 불리하게 됨을 알 수 있다.

그림 4는 방열기가 설치되어 있는 외벽 면에서 70mm 안쪽에서의 상하 온도분포를 나타낸다. 이때 방열기 위 부분인 높이 1.2 m 지점에서의 온도는 방열기에서 가열된 공기의 상승으로 인하여 높게 나타남을 볼 수 있고, 그 위에 위치한 창문 쪽으로 상승하면서 유리면에서의 냉각기류로 인하여 온도가 점차 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이 경우에도 길이가 짧고 높이가 긴 방열기의 경우 위아래의 온도차이가 10도 이상으로 크게 나는 것을 볼 수 있고, 길이가 긴 방열기의 경우에는 5도 정도로 훨씬 낮은 것을 알 수 있다. 이로 인하여 길이가 짧고 높이가 큰 방열기의 경우 방열기 위쪽에 위치한 창문을 통하여 외부로의 열손실이 더 크게 발생할 것을 예상할 수 있다.

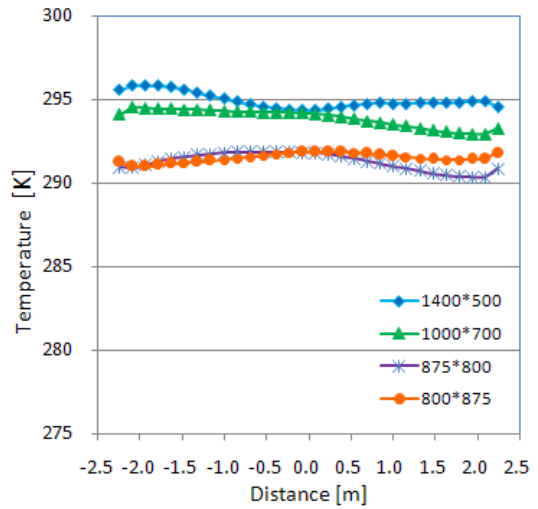
3.2 수평 온도분포 특성

그림 5는 바깥 쪽 벽면의 가운데 지점에서 높이 1.5 m 인 바깥 쪽 내측 벽면으로부터 안 쪽 벽면까지의 수평 온도 분포 상태를 나타내고, 그림 6은 바닥에서 1.5m 높이 인 지점이고 실 중앙 위치의 좌우 벽면사이에서의 수평 온도 분포를 나타낸다.

그림 5의 창 측에서는 방열기에서의 상승기류로 인하여 온도가 약간 높은 상태이나 그 이외의 부분에서는 비교적 일정한 온도분포를 나타내고 있는 것을 알 수 있으며, 길이가 짧은 방열기의 경우가 긴 경우보다 2도-2.5정도 낮게 나타남을 볼 수 있다.



[그림 5] 창문 쪽과 내벽면 사이 횡단면에서의 온도분포 선도(높이 1.5 m)



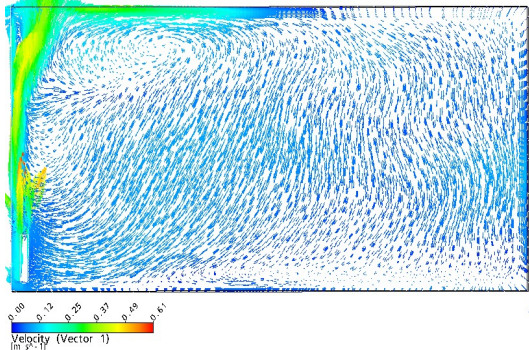
[그림 6] 양측벽면 사이의 종단면에서의 온도 온도분포 선도(높이 1.5 m)

그림 6은 높이가 1.5 m이고 실의 중앙지점에서 좌우 방향으로 위치한 지점에서의 온도분포를 나타내며, 위치에 따라 0.3-0.6도 정도의 작은 온도 차이를 나타내고 있으며, 각 방열기의 형상조건에 따라라도 온도차이가 일어남을 볼 수 있다. 이는 대류방열기의 위치가 중앙에 위치하였으나 기류가 약간 편향하여 흐름에 따라 좌우의 온도가 약간 차이가 나는 것으로 보이나 그다지 높은 차이가 아니고 온도분포가 비교적 고르게 나타나 좋은 난방효과를 가진 것으로 보인다.

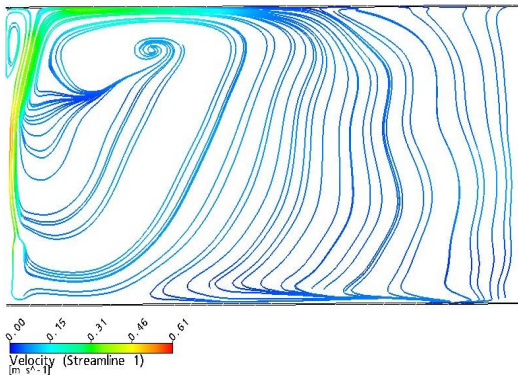
3.3 기류특성

그림 7과 8은 가로 길이가 가장 긴 1400*500인 대류 방열기를 설치한 실의 중앙 횡단면에서의 속도벡터 선도와 스트림라인 나타내며, 그림 9는 가로 길이가 가장 짧은 800*875인 경우의 스트림라인이다. 대류방열기를 통하여 가열된 공기는 방열기 상부로 빠른 속도로 상승하면서 천장 면을 따라 실 안쪽으로 유동하고 있다. 천장면에 다다른 가열된 기류는 실내 방향으로 유동하면서 실 중앙에 다다르기 전에 일부분이 하강하기 시작하고, 하강된 기류는 창문 하부에 있는 방열기 방향으로 선회하여 가열된 후 재상승하고 있다. 이때 천장면의 일부에서는 와류가 형성되어 선회하는 현상을 볼 수 있다. 실의 안쪽으로 진행되는 기류는 조금씩 아래쪽으로 하강하고 벽면에 다다른 기류는 아래 방향으로 향하면서 다시 방열기가 있는 쪽으로 서서히 선회하는 현상을 보이고 있다. 여기에서 기류 특성의 차이는 가로가 짧은 경우가 온도가 높은 기류가 상승 후 빨리 하강하는 것을 볼 수 있

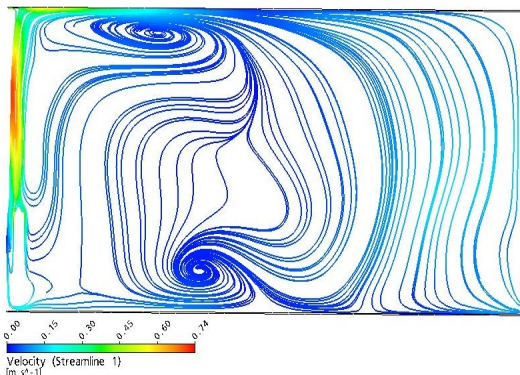
다. 대류방열기에서 전달된 열에너지는 실 전체로 대류현상에 의하여 확산되고 있어 실내 열환경에 좋은 결과를 보여주고 있다.



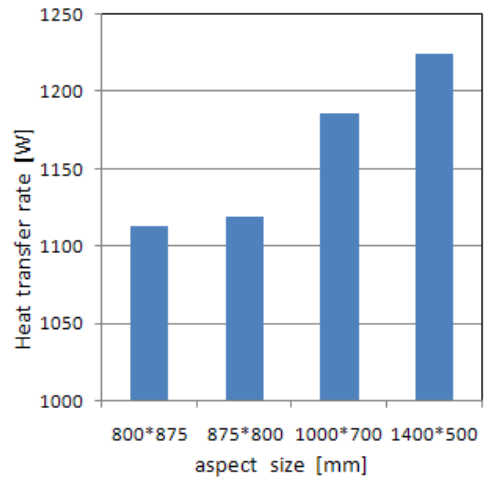
[그림 7] 실의 중앙 횡단면에서의 속도벡터 선도 (자연대류 방열기 1400×500 인 경우)



[그림 8] 실의 중앙 횡단면에서의 스트림라인 (자연대류 방열기 1400×500 인 경우)



[그림 9] 실의 중앙 횡단면에서의 스트림라인 (자연대류 방열기 800×875 인 경우)



[그림 10] 자연대류방열기의 형상별 방열량 변화

3.4 방열특성

대류방열기를 통하여 실내로 전달되는 열량을 방열기 형상에 따라 비교한 결과 그림 10과 같다. 방열기의 형상 중 가로의 길이가 가장 짧고 가장 높은 경우의 방열량이 가장 적게 나타났으며, 가로의 길이가 길고 높이가 낮은 형상을 가진 방열기의 방열량이 더 크게 나타남을 볼 수 있다.

길이가 긴 방열기의 방열량은 가로 길이가 짧은 형상을 가진 방열기에 비하여 약 10%정도 높게 나타남을 알 수 있다. 이는 대류방열기의 경우 가로, 세로의 형상비에 따라 같은 방열면적을 가진 경우라도 방열량이 달라지며, 가로의 길이가 긴 형상을 가진 방열기일수록 방열량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 인체의 열환경 쾌적도에 영향을 미치는 실내온도 분포에서도 유리함을 알 수 있다.

4. 결론

자연대류 방열기를 이용하여 실내를 난방하는 경우 방열기의 가로, 높이 변화에 따라 아래와 같이 실내온도 분포 특성과 방열특성이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다.

- (1) 실내의 상하 온도 차이는 가로 길이가 짧은 방열기의 경우가 약 5도 정도로 크게 나타나 열환경적으로 불리하고, 가로 길이가 긴 방열기는 약 3.7도 정도로 적게 나타나 열환경적인 면에서 유리함을 알 수 있다.
- (2) 실내의 수평온도 분포는 각 형상조건에 대하여 비

교적 고르게 나타남을 볼 수 있으나, 방열량은 가로길이의 비가 3.57인 경우가 0.91인 경우에 비하여 약 10% 정도 더 크고 실내온도가 2.2도 정도 높게 나타남을 알 수 있었다.

- (3) 위의 결과를 통하여 실내에 설치하는 방열기는 가로 길이가 긴 형상의 것을 선택하는 것이 방열량이나 실내 열환경 조건에서 유리함을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] Faye C. McQuiston, Jerald D. Paker, Heating, Ventilating, and Air Conditioning, Wiley, pp 140-181, 1994.
- [2] 성순경, 난방설비, 세진사, p26, p113-115, 2007.
- [3] 최정민, 김용이, 박효석, “교실 규모에 따른 난방공조 환경 평가에 관한 연구”, 대한설비공학회 논문집, 제 15권 12호, pp.1035-1042, 2003
- [4] 일본 공기조화 위생공학회, 공기조화위생공학 편람, p543-544, 1987.
- [5] Walters.K,Fine.R.H, "Performance of radiator and convectors using medium temperature hot water", The journal of environmental sevice, vol 46, No. 549, pp.503-509, 1973
- [6] Yunus A. Cengel, Heat transfer, Mcgraw -hill, p 463-469, 2003.
- [7] 한국산업 규격 KS B 6391, 난방용 방열기, 2004
- [8] Zhiqiang Zhai and Qingyan Chen, “Numerical determinaton and treatment of convective heat transfer coefficient in the coupled building energy and CFD simulaton”, Building and Environment, vol 39, pp1001-1009, 2004.

성 순 경(Sun-Kyung Sung)

[정회원]



- 1980년 2월 : 한양대학교 산업대학원 산업기계공학과 (공학석사)
- 2005년 2월 : 송실대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 2007년 2월 : 경원전문대학 건축설비과 교수
- 2007년 3월 ~ 현재 : 경원대학교 건축설비공학과 교수

<관심분야>

건축설비, 건물에너지