

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

태양열온수기 적용 냉난방시스템의 CFD를 이용한 실내환경 평가

-제1보 바닥면적과 환기횟수를 중심으로-

김종열*, 최광환**

*동명대학교 환경설비공학과(kjy804@tu.ac.kr), **부경대학교 기계공학부 냉동공조공학과(choikh@pknu.ac.kr),

Estimation of Indoor Environment using CFD of Multi-purpose System with a Solar Collector

Part 1, focused on floor area and number of ventilation

Kim, Jong-Ryeol*, Choi, Kyang-Hyan**

*Dept. of Environmental Equipment Engineering, Tongmyong University(kjy804@tu.ac.kr),

**Dept. of Refrigeration & Air-Conditioning Engineering, Pukyong National University(choikh@pknu.ac.kr)

Abstract

This paper has been conducted to estimate cooling capacity of the dehumidification tower using hot water from a solar water heating system as a energy source of regeneration process when the dehumidification and drying system is applied to room cooling. A solar water heating system was operated and indoor temperature distributions were simulated according to weather conditions when the concerned solution was used to dehumidify room air in the dehumidification tower. Through this simulation researches we found th following results ;

It was found that air velocity through supply and return diffusers should be controlled because it can cause uncomfot in dwelling area.

It was found that in the sunny morning temperatures of dwelling area 1 and 2 are higher than those of dwelling area 3 and 4.

In this research all the calculation results of heating and cooling system supported by solar water heater have confirmed that its cooling capacity could not reach PMV 0, thermal comfort.

Keywords : 신재생에너지(Renewable energy), CFD(Computational Fluid Dynamics), 제습탑(dehumidification tower), 공기유동(airflow), 온도분포(temperature distribution)

접수일자 : 2007년 6월 11일, 심사완료일자 : 2007년 9월 6일

교신저자 : 김종열(kjy804@tu.ac.kr)

1. 서 론

지구온난화 등 지구 규모의 환경문제에 대응하기 위해 에너지를 절약하기 위한 여러 방안들 중 냉방설정온도를 높이는 것이 권장되고 있다. 그렇지만 룸 에어컨과 같은 기존 공조장치는 공기를 노점온도 이하로 냉각하여 공기에 포함된 수분을 결로시켜 제습을 하기 때문에 설정온도를 높이는 것은 실내의 습도 상승을 초래한다. 특히 우리나라와 같은 고온다습한 환경에서 실내습도가 상승하는 것은 불쾌감이 더욱 높아질 수 밖에 없다. 즉 습도조정 없이 압축식 냉방장치의 설정온도를 올리는 것은 에너지소비 절감의 측면에서는 유리하지만 쾌적한 환경을 제공하는 것은 아니다. 게다가 대부분의 냉매압축식 냉방장치에 이용되고 있는 대체프레온의 지구온난화계수는 이산화탄소에 비해 매우 크고, 폐기에는 엄중한 관리를 요한다. 이러한 것들의 문제를 해결하기 위해서는 소비전력을 적게 하는 것에도, 환경부하가 높은 냉매를 이용하지 않는 점, 게다가 제습을 고려한 공조장치가 불가결하다.

이러한 배경에서 겨울철 난방 및 급탕용으로만 이용되는 태양열 온수기를 난방은 물론 여름철 냉방 및 제습이 가능한 멀티 냉난방 시스템을 구축하였으며, 이를 실제 운전한 결과를 이미 발표^{1)~3)}한 바 있다.

본 논문은 이러한 연구를 바탕으로 본 시스템의 냉방 및 제습 능력을 예측하기 위해 수치해석 프로그램⁴⁾(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 대상실의 바닥면적과 환기횟수를 변수로 하여 케이스 스터디하였으며, 실내의 공기유동, 벽면의 온도분포, 거주영역의 온도, 거주영역의 PMV를 통해 본 시스템의 냉방 및 제습 능력을 추산하여 태양열온수기의 냉난방 시스템의 설계자료로 제공하고자 한다.

2. 수치해석

2.1 시스템 개요

그림 1에 여름철에는 냉방을, 겨울철에는 시스템 변경없이 난방을 할 수 있는 4계절 다목적 복합시스템을 구축하기 위해 태양열온수기를 가열열원으로 냉방 및 난방효과를 얻는 전체시스템을 개략도를 나타내었다.

본 장치의 주요 구성기기는 크게 3부분으로 구성되어 있는데, 태양열온수기와 그에 따른 집열판과 온수저장탱크로 이루어진 태양열 온수시스템, 열교환기가 들어가 있는 용액저장탱크, 그리고 기체와 액체의 현열과 전열교환을 하여 재생과 제습을 하는 제습탑으로 구성되어 있다.

본 실험에 사용한 태양열 온수기는 강제순환식으로 집열기가 4장(8m²)이며, 온수저장탱크는 560ℓ로 구성되어져 있다.

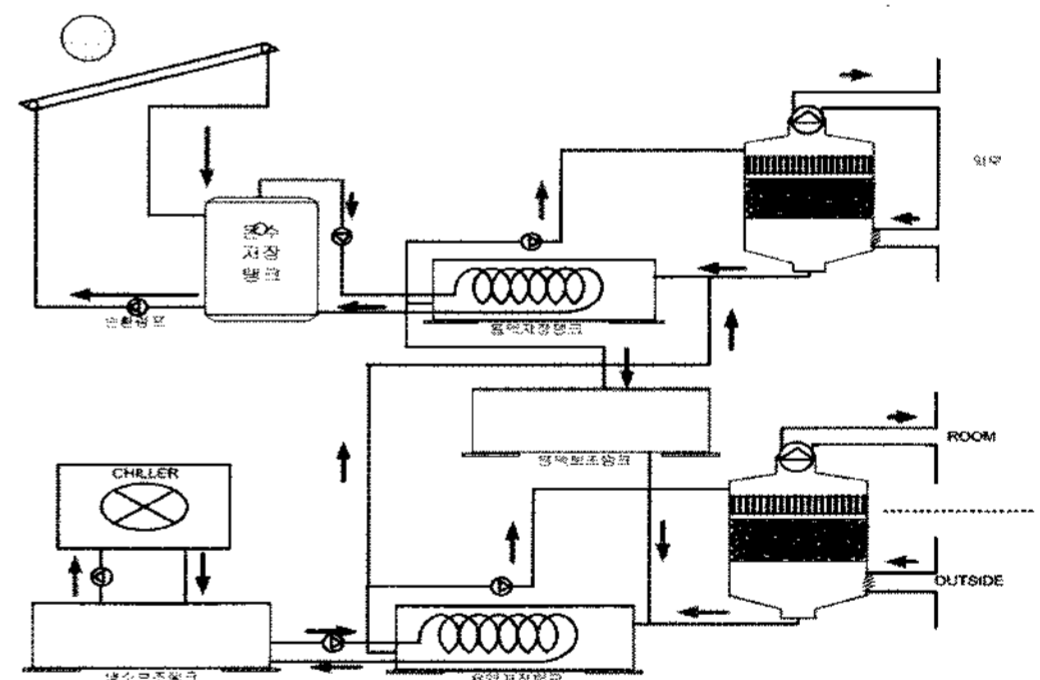


그림 1. 전체 시스템의 개략도

태양열 온수기를 이용한 냉난방시스템은 전날 태양열 온수기에서 가열된 열원으로 재생탑에서 묶은 흡수제를 재생하여 냉방 혹은 제습하고자 하는 실의 제습을 위해 제습탑에 보내어진다. 표 1은 비오는 날의 구름상태를 10으로 기준하여, 맑은날(2006년 8월 28일, 2.4), 흐린 날(29일, 3.8), 비오는 날(30일, 10)의 다음날인 8월 29일, 30일, 9월 1일 제습실험에서 얻은 결과이다.

표 1. 실험결과

	Case1	Case2	Case3
취출온도	24℃	24.4℃	22.7℃
취출습도	38.3%	40.5%	44.3%
공기량	220CMH	220CMH	220CMH

2.2 계산모델

계산모델의 형상은 표 2와 같이 2.5m × 4m의 바닥면적에, 실 높이는 2.4m인 경우를 100%로 Model 100로 하고, 바닥면적 80%를 Model 80, 50%인 경우를 Model 50으로 하였으며, 유리창은 동쪽 외벽면에 위치한 것으로 가정하였다.

표 2. 계산 모델

Case	실크기(m)	유리창면적(m)	실높이(m)
Model100	2.5×4.0	1.5×1.9	2.4
Model80	2.5×3.2	1.5×1.9	2.4
Model50	2.0×2.5	1.5×1.5	2.4

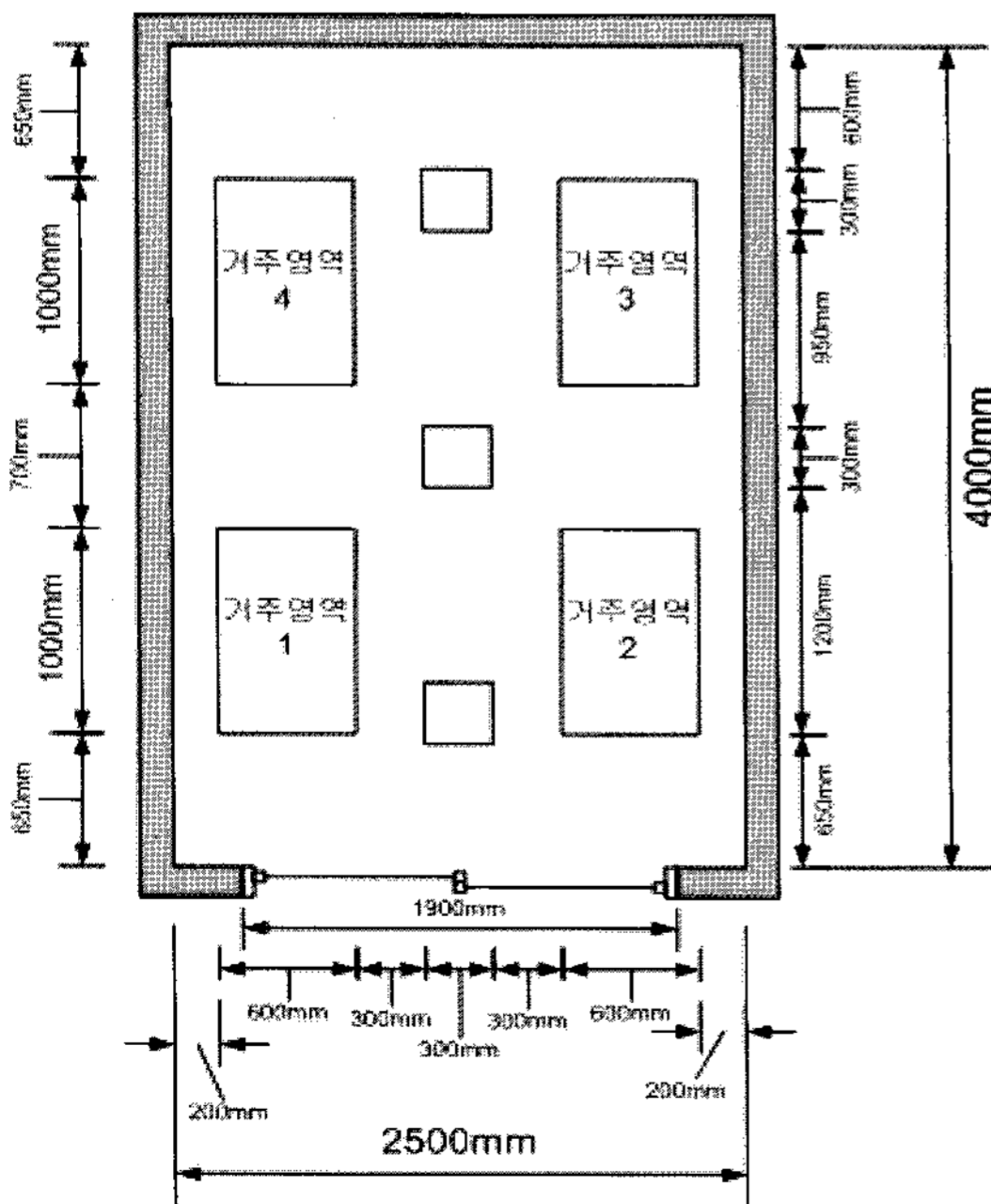


그림 2. 계산실 100%인 경우 형상

유리창은 단일유리로 크기는 표 2와 같다. 취출구는 흡입구를 중심으로 양측에 2개를 설치하였으며 1개의 흡입구를 배치하였다.

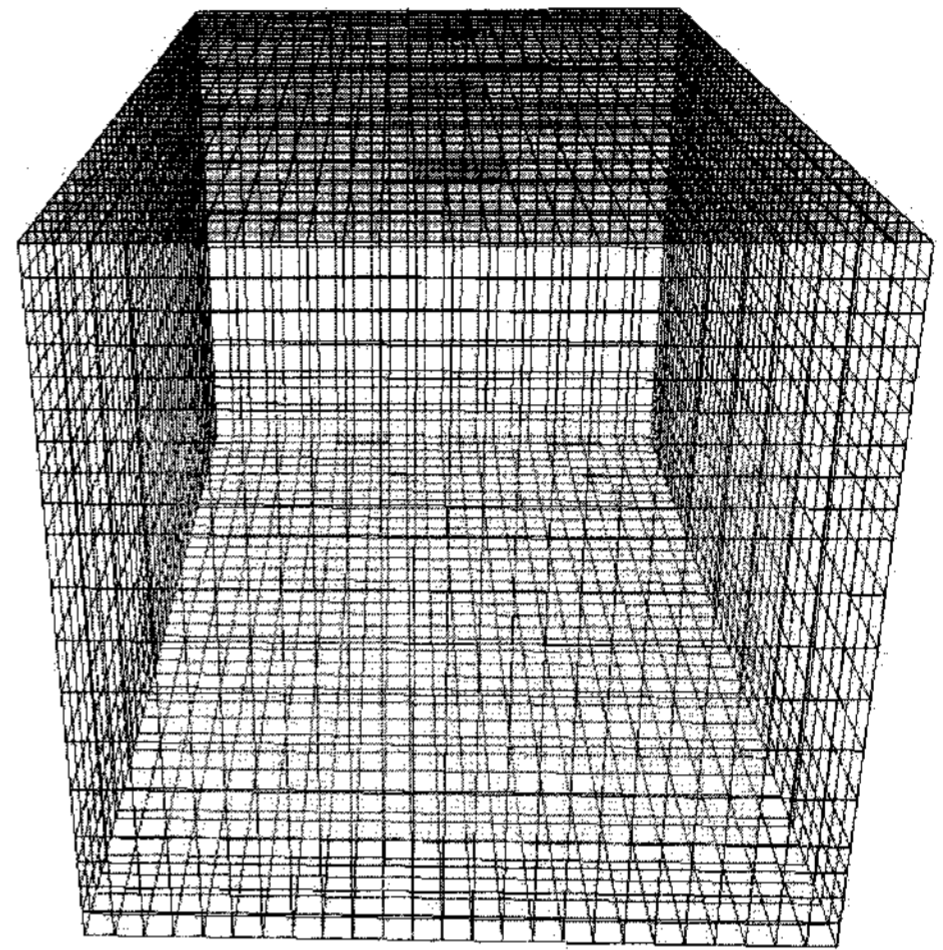


그림 3. 수치해석을 위한 격자분할

대상모델을 계산하기 위해 그림 2와 같이 21 × 27 × 41의 격자수로 분할하였다.

2.3 지배방정식

직교 좌표계에 대한 유동을 지배하는 방정식은 연속식, 운동량 방정식, 에너지방정식으로 이들의 3차원 비정상에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

연속식

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

운동량 수송 방정식

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j u_i)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right\} + F_i \quad (2)$$

스칼라량 ϕ 의 수송방정식

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\Gamma^\phi + \Gamma_t^\phi) \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right\} + S_\phi \quad (3)$$

k 의 수송방정식

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j k)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right\} + G + B - \rho \epsilon \quad (4)$$

ϵ 의 수송방정식

$$\frac{\partial(\rho \epsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j \epsilon)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right\} + C_1 \frac{k}{\epsilon} (G + B) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

그래서 p 는 난류 압력 $\bar{p} + 2/3\rho k$ 로 다시 정의할 수 있다. 즉 G 및 B 는 각각 난류에너지 k 의 생성항, 부력항이고 다음과 같은 식으로 주어지게 된다.

$$G = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

$$B = g\beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (7)$$

이상의 식에 나타난 C_D , C_1 , C_2 , σ_k , σ_ϵ 은 모두 k - ϵ 방정식 모델의 경험정수이고, Launder, Spalding에 의해서 주장되어지는 값을 사용한다.

또 σ_t 는 식 (7)에서 기술된 난류Prandtl 수이다. 표 3은 이러한 경험정수를 나타낸다.

표 3. k - ϵ 모델의 경험정수와 난류Prandtl 수

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

2.4 케이스 스터디

태양열 온수기를 이용한 냉난방시스템은 전날 태양열 온수기에서 가열된 열원으로 재생탑에서 묽은 흡수제를 재생하여 농흡수제를 만들어 제습탑에 보낸다. 따라서 본 논문에서는 제습탑에서 건조된 공기를 계산모델 대상실에서 표 4와 같은 조건으로 시뮬레이션하였다. 실내 거주자의 수는 4인으로 하였으며, 거주영역은 그림 2와 같이 4지역으로 가정하였으며 실내에 취출되는 공기는 표 1의 Case 1인 공기온도는 24℃, 습도는 38.3%, 취출속도는 0.34m/s, 공기량은 220 CMH.로 하였다. 이는 맑은 날에 재생탑에서 농흡수제를 만들어 제습탑에 보냈을 때, 제습시 본 시스템의 취출상태를 나타낸 것^{2), 3)}이다.

실의 초기조건은 30℃, 50%로 하였다.

표 4. 계산대상

	환기횟수(회/h)	실의 크기
Case 1	1.0	Model 100
Case 2	0.7	Model 100
Case 3	1.0	Model 80
Case 4	0.7	Model 80
Case 5	1.0	Model 50
Case 6	0.7	Model 50

열적 쾌적성을 지배하는 인자는 기온, 열유속, 습도, 복사온도, 착의량, 대사량의 6요소로 구성되어 있다. 이러한 요소의 일부 또는 전부를 포함하는 쾌적성 지표는 수많이 제안되어 있으며, 본 연구에서는 PMV를 사용했다. 본 프로그램의 계산에 필요한 실내 거주자의 변수인 착의량은 1.0clo, 대사량은 50.0 kcal/m²h로 가정하였다. 또한 PMV와 온냉감의 대응은 표 5와 같다.

표 5. PMV와 온냉감의 대응

PMV	온냉감
-3	cold
-2	cool
-1	slightly cool
0	neutral
+1	slightly warm
+2	warm
+3	hot

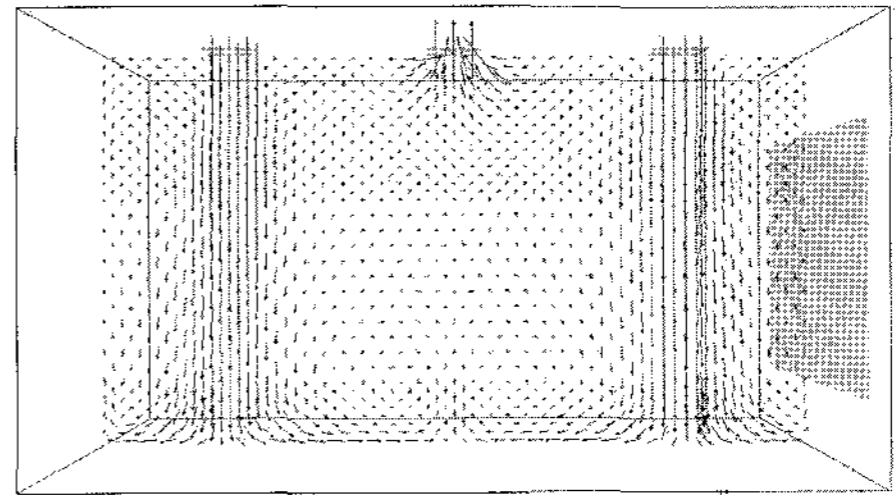


그림 5. 대상실의 공기흐름(S:0.38m/s, E:0.68m/s)

3. 계산결과 및 고찰

3.1 외기조건

본 계산에 사용된 외기조건은 부산의 HASP용 표준기상데이터로 8월 1일 하루치 데이터이다.

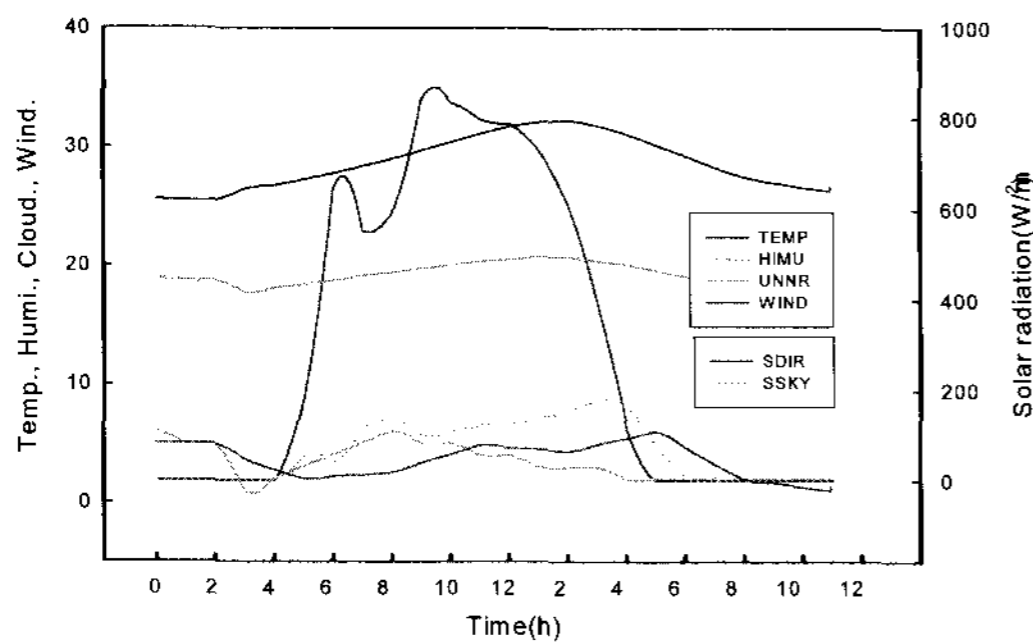


그림 4. 계산용 외기조건(8/1)

그림 4에서 알 수 있듯이 계산에 이용한 부산의 외기조건은 외기 2시에 온도가 가장 높았으며 일사량은 오전 10경에 가장 높았다.

3.2 기류 해석

그림 5는 양쪽에 취출구를 두고 가운데 흡입구를 배치할 때, 취출구 공기유속이 0.34 m/s이고, 흡입구 공기유속이 0.68 m/s인 경우의 공기 흐름을 나타낸 것이다. 오른쪽의 검 부분이 유리창을 나타낸다. 취출된 공기중 일부는 거주영역의 높이인 1.5 m 높이까지 도달하지 않은 채 흡입구로 바로 빠져나가는 것을 알 수 있으며, 상부의 취출구 양쪽에는 정체 공기가 있음을 알 수 있다.

3.3 실내 벽면의 평균온도

바닥면적 50%, 환기횟수 0.7회/h인 경우의 실내 벽면의 온도변화를 그림 6에 나타냈다.

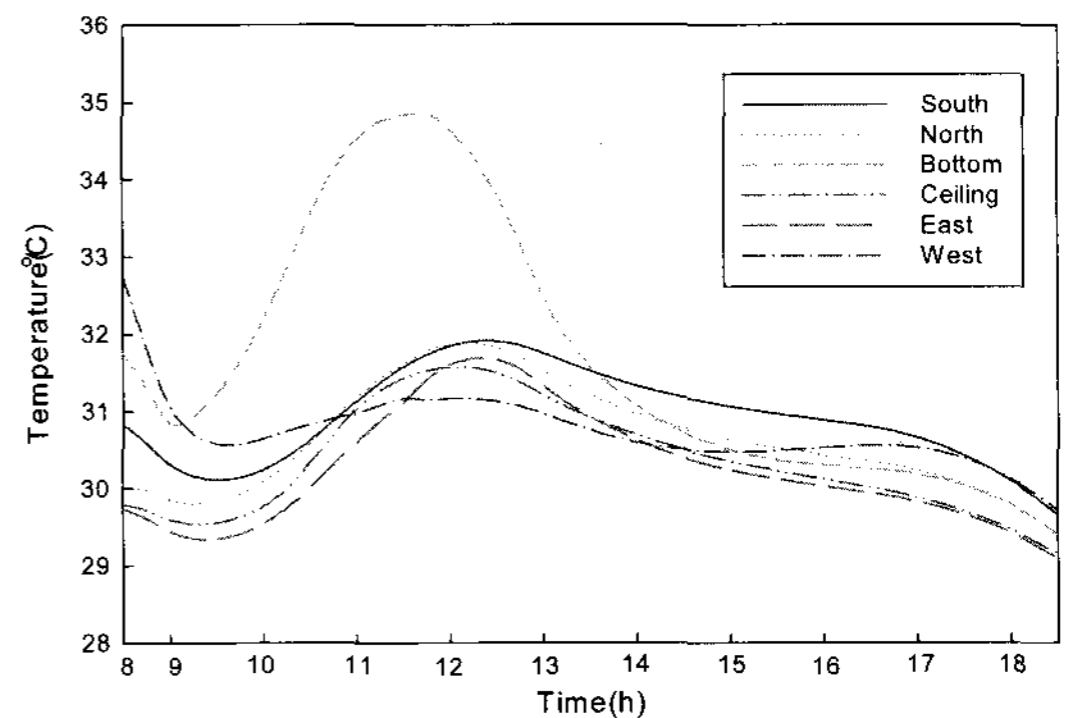


그림 6. 실내벽면의 온도분포(Case 6)

바닥면을 제외한 모든 벽면의 온도는 외벽에 따라 점차 상승하다가 12시를 전후해서 점차 낮아지는 경향을 보였다. 바닥은 동쪽 유리창을 통해 들어온 일사량의 영향을 받아 축열되어 11시에서 12시 사이에 가장 높은 온도로 상승 점차 낮아졌다.

3.4 실내온도분포

그림 7은 바닥면적 50%, 환기횟수 0.7회/h인 Case 6의 거주영역별 온도분포를 나타낸 것이다. T-mean의 경우 실의 평균온도이며, Resid_1~Resid_4는 거주영역 1에서 4를 의미한다. 거주영역 1과 2는 동쪽 유리창에 가깝게 위치한 곳

으로 11시를 기점으로 온도가 약간 올라간 반면, 거주영역 3과 4는 약간 떨어지는 현상을 보였다. 이는 바닥면에 일사량이 도달하는 영역과 도달하지 않는 영역 사이에는 일사량의 의한 바닥축열로 온도차가 발생하기 때문인 것으로 판단된다.

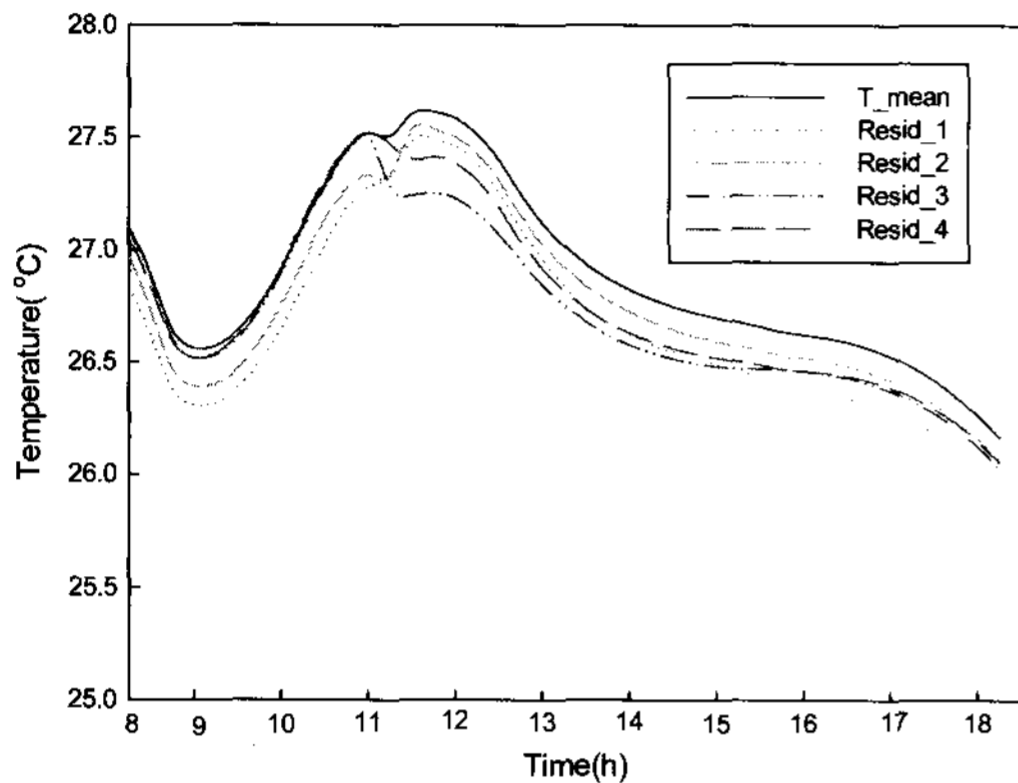


그림 7. 거주영역의 온도분포(Case 6)

3.5 열적쾌적지표 PMV

그림 8과 그림 9는 거주영역에 따른 PMV와 환기횟수에 따른 PMV를 나타낸 것이다.

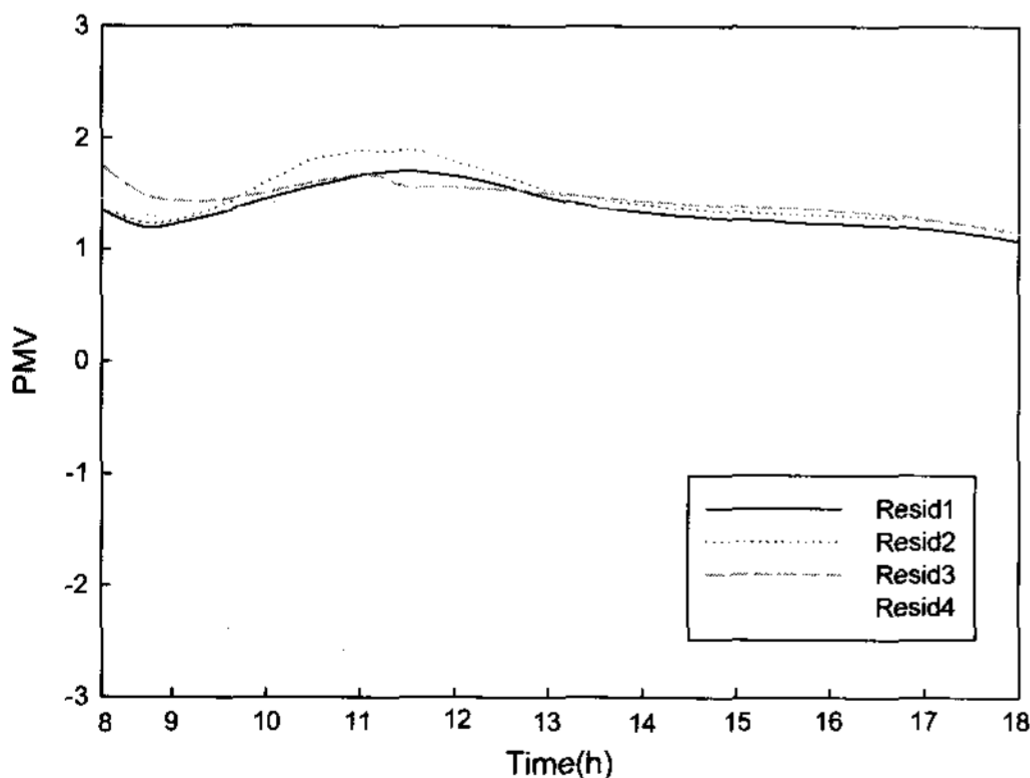


그림 8. 거주영역에 따른 PMV(Case 6)

그림 8은 Case 6인 바닥면적 50%의 크기에 환기횟수를 시간당 0.7회로 가정하여 각 거주영역의 PMV를 나타낸 것이다.

모든 거주영역에서 오전에 +1과 +2의 사이의 높은 PMV값을 나타냈다. 계산에 이용한 8월 1일의 부산의 외기조건을 보면 알 수 있겠지만, 이는 외기의 영향으로, 하루중 일사량이 가장 높은 시간대이면서 외기온도가 높은 11시에서 12시에 실내온도도 높아지기 때문인 것으로 생각된다.

일사량이 도달하는 거주영역 1과 2와는 달리 3과 4는 오전에는 PMV값이 낮지만 오후가 되면 거의 유사한 값을 나타내거나 오히려 높아진다.

일사량이 도달하는 거주 1과 2의 오전 PMV값을 살펴보면 1보다는 2의 값이 크다는 것을 알 수 있다. 위도에 따른 일사량의 차이가 실내 온도에 미세한 영향을 미치기 때문인 것으로 생각된다.

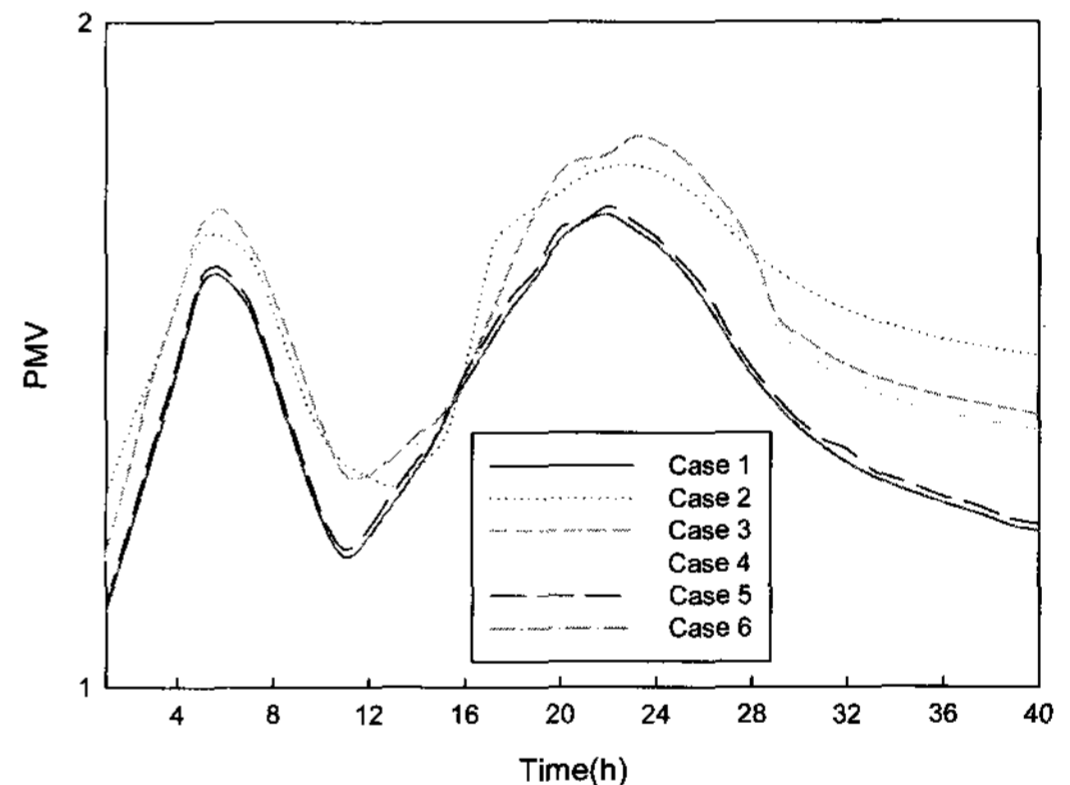


그림 9. 환기횟수에 따른 PMV(거주영역1)

그림 9은 바닥면적 및 환기횟수에 따른 거주영역 1에서의 PMV값을 나타낸 것이다.

바닥면적이 작을수록, 환기횟수가 작을수록 약간 따뜻하다고 하는 온냉감을 나타내는 +1 PMV 값에 가까운 결과를 보였다. 하지만 본 연구에서 가정한 모든 계산조건에서 PMV 0인 쾌적감을 나타낸 것은 없었다.

이러한 결과는 태양열온수기를 이용한 냉난방시스템의 능력이 계산대상인 실의 규모에 미치지 못하기 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

이상과 같이 태양열 온수기를 열원으로 하는 냉난방 시스템의 성능을 추산하기 위해 시뮬레이션한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 취출구 및 흡입구의 기류속도에 의해 거주영역의 쾌적성에 영향을 미칠 수 있으므로 적절한 기류속도로 조정할 필요가 있음을 알았다.
- (2) 일사량이 많은 오전시간대에 거주영역 1과 2에서의 온도가 3과 4보다는 높음을 알 수 있었다.
- (3) 본 연구에서 대상으로 한 태양열 온수기를 이용한 냉난방 시스템의 냉방능력으로는 시뮬레이션한 계산조건 모두 쾌적범위인 PMV 0에는 도달하지 않음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 김종열 외, CFD를 이용한 태양열온수기 적용 냉난방시스템의 성능 추산, 2006년도 추계학술발표대회, 한국태양에너지학회, 2006.11.30.
2. 백기동 외, 태양열 온수기 적용 냉난방 시스템의 실제 운전특성, 2006년도 추계학술발표대회, 한국태양에너지학회, 2006.11.30.
3. 김지원 외, 태양열 온수기 적용 냉난방 시스템의 실제 운전시 COP에 관한 연구, 2006년도 추계학술발표대회, 한국태양에너지학회, 2006.11.30.
4. 대서윤치, 죽곡신행, 수야 엮, 실내열기류환경의 수치예측수법에 관한 연구-제1보, 해석코 SCIENCE의 개요와 계산수법, 공기조화위생공학회논문집, No.58, 1995