

공학석사 학위논문

휘트니스센터 페리메타존의

실내열환경 예측

2006년 2월

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

강 주 생

工學碩士 學位論文

휘트니스센터 페리메타존의

실내열환경 예측

지도교수 금 종 수

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함

2005년 11월

부경대학교 산업대학원

냉동공조공학과

강 주 생

강주생의 공학석사 학위논문을 인준함

2005년 12월 일

주	심	공학박사	오	후	규
위	원	공학박사	정	석	권
위	원	공학박사	금	종	수



A Case Study on Thermal Environment of Fitness Center Perimeter Zone

Ju-Seang Kang

Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering
Graduate School of Industry, Pukyong National University

Abstract

According as construction of domestic apartment house which is representative of apartment and complex house grows up, because of the most elegant and an area difference, the bipolar phenomenon of the late of sale get more deeply involved. besides during recent 3~4 years, introduction of fitness center as welfare center have been generalized. and it is depended that desire of user about quality pursuit of life cope with development of well-being industry which become topic recently. specially, in case of fitness center, for minimizing simplicity in exercise time, According to demand of user which want to look a surrounding view sufficiently, width of window get more increased.

Insulation ability of window is inferior to that of wall, window cause that thermal environment deterioration and increasing consumption of cooling and heating energy, by radiant heat which indoor people reach directly, window cause amenity of indoor people. but research about thermal environment of fitness center which is considered external construction and surrounding environment is not remarkably enough. in accordance with , this research present problem and solution as predicting indoor's thermal environment which is considered external construction and surrounding structure.

目 次

ABSTRACT	i
目 次	iii
I. 서론	1
1. 연구의 배경	1
2. 연구의 목적	1
II 본문	3
1. 계산의 기초이론	3
1.1 수치계산의 기초이론	3
1.2 일조환경 기초이론	9
1.3 예상온열쾌적감(PMV)	16
2. 실내열환경 예측	20
2.1 실내 열환경 예측 프로그램의 개요	20
2.2 주요계산 조건	20
2.3 토출기류속도에 관한 검토	23
2.4 실내 온도분포 검토	26
3. 일사에 따른 실내 열환경 예측	27
3.1 일사유입에 따른 실내열환경 해석	27
3.2 주변건물에 의한 일조환경분석	30

3.3 재실자의 온열 쾌적감 예측	34
4. 결로방지를 위한 모형실험	35
4.1 Low-e 유리의 특성	35
4.2 모형실험의 개요	35
4.3 모형실험 장치의 구성	37
4.4 모형실험의 방법	39
4.5 모형실험의 결과	40
III 결론	42
참고문헌	44
감사의 글	49

I. 서론

1. 연구의 배경

주택건설기준 및 각종 법률에서 공동시설의 건설을 의무화하고 있으며, 공동주택의 주민공유공간 선호도에서 운동시설의 확충을 가장 많이 요구하는 것으로 설문조사에서 밝혀졌다.

그리고, 웰빙산업이 발달되고, 공동주택의 건설이 심화되면서 공동주택의 입주자를 위한 공동시설의 확충뿐만 아니라 공동시설의 수준도 높아지기를 요구하는 것은 당연하다.

따라서, 공동시설의 수준에 따라서 분양율이 양극화되므로 공동주택의 건설시장에서 주거문화의 향상과 더불어 공동주택 입주자를 위한 공동시설의 수준향상을 위한 진단 및 평가를 위한 연구가 보다 많이 요구되는 실정이다.

2. 연구의 목적

건물의 페리메타영역 실내환경은 주변 건물에 의한 일영과 외피조건에 의해 상당히 많은 영향을 받는다. 그러나, 최근에는 주변경관을 충분히 볼 수 있기를 원하는 소비자의 요구에 의해 유리창의 크기가 점차 확대되고 있는 추세이므로, 유리창으로 도입되는 일사와 전열에 의한 영향을 충분히 고려할 필요가 있다.

특히, 유리창은 벽체보다 단열성능이 떨어지며 동계 전열에 의해 실내 공간의 열환경 악화와 냉난방에너지의 소비를 증가시키는 원인이 되며, 유리창의 실내표면에 발생하는 결로는 외부의 경관을 흐리게 하여 소비자 불만의 주요 원인이 될 수 있다. 그리고, 유리창 표면에 응축된 결로수가 흘러 바닥 면에 고이거나 건물의 벽체에 스며들게 됨으로써 건물의 미관과 실내 인테리어의 악화를 유발하는 문제까지 발생시키기도 한다.

또한, 유리창을 통한 투과일사는 실내 열부하를 증가시키기도 하며, 재실자에 직접 도달하는 복사열에 의하여 실내온열환경을 악화시키는 요인이 되기도 하는 것이다.

따라서, 본 연구는 서울 도곡동에 위치한 휘트니스센터의 페리메타영역을 대상으로 외피조건을 고려한 실내열환경을 평가 수치시뮬레이션을 수행하고, 외피시스템에 관한 모형실험을 진행함으로써 다음과 같이 검토하였다.

① 수치시뮬레이션에 의해 유입되는 일사에 의한 바닥면의 온도 및 주변건물의 영향을 고려한 일조시간을 검토 하였다.

② 페리메타영역 온열환경 시뮬레이션에 의해 태양의 일사 유입에 따른 재실자 실내온열쾌적감의 체표면 분포를 예측하였다.

③ 모형실험에 의해 유리면의 결로가 발생하는 실내외 조건을 검토하고, 결로를 최소화하기 위해 도입되는 Low-e유리의 성능을 평가 하였다.

II 본론

1. 계산의 기초이론

1.1 수치계산의 기초이론

실내의 기류장을 대상으로 하는 해석에서는 속도가 최대가 될 경우라도 수[m/s]이며, 온도는 실온 0~40[℃] 정도를 상정하게 된다. 압력의 영향을 무시할 수 있는 비 압축성 흐름으로 예상하는 것이 일반적이며, 온도에 의한 밀도 변화는 부력항만 고려한 Boussinesq 근사를 적용한 것이 가능하다. 또 실내는 벽면 부근을 제외하고 난류로 예상하여 해석하는 것이 당연하다.

난류를 취급하는 경우에는 시간평균 속도성분과 변동성분을 이용하고 순시값을 이하와 같이 나타낼 수 있다. (시간 평균 성분을 $\overline{u_i}$, $\overline{P}$, $\overline{\Psi}$ 로, 그 변동 성분은 u'_i , p' , Ψ' 순시치를 u_i , p , Ψ 로 나타낸다.)

$$u_i = \overline{u_i} + u'_i$$

$$p = \overline{p} + p'$$

$$\Psi = \overline{\Psi} + \Psi'$$

이것은 비압축성 연속의 식 Navier-Stokes 운동방정식, 스칼라량 수송 방정식에 대입하여, Tensor 표시에 의하여 다음의 식이 된다.

(연속의 식)

$$\frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_j} = 0$$

(Navier-Stokes 운동 방정식)

$$\frac{\partial(\rho \overline{u_i})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \overline{u_j u_i})}{\partial x_j} = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij} - \rho \overline{u'_i u'_j}) + F_i$$

(스칼라량의 수송 방정식)

$$\frac{\partial(\rho \overline{\psi})}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \overline{u_j \psi})}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-D_j^\psi - \overline{u'_j \psi}) + S_\psi$$

여기서, ρ 는 유체밀도, F_i 는 i 방향의 부력 외 체적력이다. 그리고, S 는 스칼라량 ψ 의 생성항, τ_{ij} 는 운동량의 i 방향성분의 점성력이고, D_j^ψ 은 ψ 의 j 방향확산플럭스성분이다. 분자점성계수를 μ 로하고, ψ 의 확산 계수를 Γ^ψ 로 하여 다음식으로 나타내었다.

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right)$$

$$D_j^\psi = -\Gamma^\psi \frac{\partial \overline{\psi}}{\partial x_j}$$

기초식에서는 $-\rho \overline{u'_i u'_j}$ (레이놀즈 응력), $-\rho \overline{u'_j \psi}$ (난류플럭스) 등의 난류성분을 포함하고 있고, 닫힌 형식은 아니다. 따라서, 이러한 항을 모델화 하여 닫힌 형태로 할 필요가 있고, 그것을 가능하게 한 것이 난류모델이다.

Boussinesq는 레이놀즈응력이 분자점성에 의한 응력과 같이 속도 경사

에 비례한다고 가정하고, 다음 식의 과점성 모델을 도입하였다.

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu \left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho \mathcal{K}_{ij}$$

또한, 스칼라량의 난류flux에 관해서는,

$$-\rho \overline{u'_j \Psi'} = \Gamma_\Psi \frac{\partial \overline{\Psi}}{\partial x_j}$$

시간 평균치의 구배와 관련시키고, 나타내는 것이 가능하다고 가정하고 있다. 여기에서 μ_ℓ 는 과점성(난류점성)계수, k 는 난류 에너지 ($= 1/2 \overline{u'_i u'_i}$), Γ_Ψ 는 스칼라량 Ψ 의 난류확산계수이다. 열이나 물질의 이동에 대표된 스칼라량의 수송과 운동량 수송과의 analogy로부터, 이하의 관계식이 성립된다.

$$\Gamma_\Psi = \frac{\mu_\ell}{\sigma_\Psi}$$

μ_ℓ / σ_Ψ 는 열수송에 있어 난류 프란틀수라고 불리고 물질수송에 있어 난류 슈미트수라고 불린다. 현상이 다르지만 거의 일정하다고 간주할 수 있는 것이 경험적으로 알려져 있다.

이상과 같은 과점성의 개념을 도입한 것에 의해, 방정식은 닫힌 것이 된다. 그러나 μ_ℓ 를 어떻게 표현하는지가 초점이 된다.

Prantl은 μ_ℓ 를 분자 점성과의 analogy로부터 난류의 특성치로서 혼합거리로 1을 도입했다.

$$\mu_\ell = \rho V_\ell$$

여기에서 V_t 는 난류의 대표 속도(Turbulence velocity)로 있고, 2차원 경계층류에 적용한 경우 $V_t = 1|\partial \overline{u_1}/\partial x_2|$, $-\rho \overline{u'_1 u'_2} = \mu_t(\partial \overline{u_1}/\partial x_2)$ 로 표현할 수 있는 것으로

$$\mu_t = \rho \mathcal{N} \left| \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_2} \right|$$

로 되고 결국 혼합거리 l 을 어떻게 표현하는지가 문제가 된다. 그 후 Prantl 과 Kolmogorov는 V_t 가 난류 에너지 k 의 제곱근에 비례한다고 하여

$$\mu_t = \rho \mathcal{N} \sqrt{k}$$

로서 정식화를 했다. 그러나 이 식은 1을 대수학식으로부터 산출한 1방 정식 모델이기 때문에 대수학 모델의 제약을 극복할 수 없고 1방정식 모델로부터 2방정식 모델(k, ε)로 이행하게 된다.

난류 에너지 소산율 ε 은 다음 식으로 정의된다. (C_D 는 실험 정수)

$$\varepsilon = C_D \frac{k^{1.5}}{l}$$

난류 에너지 k , 난류 에너지 소산율 ε 을 수송 방정식에 이용한 모델을 $k-\varepsilon$ 모델[1]이라고 부르고 실용적으로 폭넓게 사용되고 있다. 또 μ_t 는 다음 식으로 나타난다.

$$\mu_t = C_D \frac{\rho k^2}{\varepsilon}$$

본 해석에 있어도 $k-\varepsilon$ 가 방정식 모델을 이용한 것이다 다음에 기초

식에 대입 한 식을 다음에 나타낸다.

(연속의 식)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0$$

(운동량 수송 방정식)

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

(스칼라량 Ψ 의 수송 방정식)

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

(k 의 수송 방정식)

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

(ε 의 수송 방정식)

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

여기에서 $\bar{p}$ 는 난류압력 $\bar{p} + 2/3 \rho k$ 로 다시 정의하고 있다. 또 G, B 는
각자 난류에너지 k의 생성항, 부력항이며 다음식으로 나타낸다.

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

$$B = \rho \beta \frac{\mu_t}{\sigma_t} \frac{\partial T}{\partial x_j}$$

이상의 식에 나타났던 C_D , C_1 , C_2 , σ_k , σ_ε 은 모두 $k-\varepsilon$ 방정식 모델의 경험정수이며, Launder, Spalding에 의하고 추천되고 있는 값을 이용했다.

표 1 $k-\varepsilon$ 모델의 경험정수와 난류 Pr 수

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

1.2 일조환경 기초이론

일조라는 것은 태양의 직사광이 닿느냐 그렇지 않느냐 하는 것으로 건물 혹은 실내에 햇빛이 든다는 것은 건물 또는 실내의 환경에 큰 영향을 미치며 거주성이 좋은 건물에서는 일조가 매우 중요하다. 태양의 복사선은 파장에 의해 표 2와 같이 분류한다.

표 2 태양 복사선의 구분

구분	파장	내용
자외선	0 ~ 380 nm,	생물의 생육, 살균, 퇴색, 화학 작용(화학선)
가시선	380 ~ 780 nm,	눈의 망막을 자극하여 광감각을 주는 선, 햇빛의 밝기 혹은 낮의 밝음을 지배.
적외선	780 ~ 4000 nm,	열효과(열선), 건조효과에 의해 세탁물 건조, “일사”라는 용어에 적합

일조는 동절기 난방부하를 경감시키는 효과가 있으나. 여름철의 일사는 냉방부하를 증가시키는 요인이 되며 창주변의 재실자에게 상당한 복사불균형을 유발하므로 차폐 혹은 차양을 설치해야 하는 문제가 발생하기도 한다.

일사는 태양으로부터의 열의 세기로써 열에 태양일조와는 구분되며 태양으로부터 도달되는 열을 나타내는 것으로 단위시간에 단위면적당 받는 열량을 일사량(W/m^2 $kcal / m^2 \cdot h$)이라한다.

태양의 복사중 지구 대기권외에 도달, 대기를 투과하여 직접 지표에 도달하는 일사를 직달일사라 하며, 파장이 비교적 짧은 빛이 공기분자, 먼

지 등에 의해 산란되어 천공 전체에 방향성이 없는 일사로 되어 지상에 도달하는 일사를 천공일사라 한다.

그리고, 수평면에 도달하는 전체일사량을 수평면 전천일사량이라 하며 직달일사와 천공일사의 합으로 나타낸다.

지구는 태양 주위를 원형에 가까운 곡률 1/297의 타원궤도를 따라 365일 주기로 공전하면서 지구 자체도 공전면의 법선에 23.5° 기울어진 자전축을 중심으로 24시간 주기로 자전하고 있다. 따라서, 지구자전축의 기울기로 인하여 일사의 세기, 낮의 길이, 계절간의 기후변화가 생기는 원인이 되며, 만약 일적위가 없다면 일년내내 일정한 기후조건이 될 것이다. 적도에서 태양광선과 수직으로 일치하며 낮과 밤의 길이가 같아지는 춘·추분, 북회귀선(북위 23.5°)에서 태양광선과 수직으로 일치하여 낮의 길이가 가장 길어지는 하지, 남회귀선(남위 23.5°)에서 태양광선과 수직으로 일치하여 밤의 길이가 가장 길어지는 동지로 바뀌면서 일조시간 및 태양의 고도가 변화하게 된다. 그림 1은 지구 자전 및 공전에 의한 북반구의 계절변화를 나타낸 것이다.

지구중심의 관점에서 태양이 운동한다고 할 때, 가상적인 태양의 움직이는 경로를 이은 구를 천구라 하며, 지축은 태양과 적도를 지나는 평면의 법선과 23.5° 의 기울기를 유지하며 공전하므로 이 기울기를 황도의 기울기라 하며 일적위라고도 한다. 그림 2는 지구중심의 관점에서 천구를 나타낸 것이다.

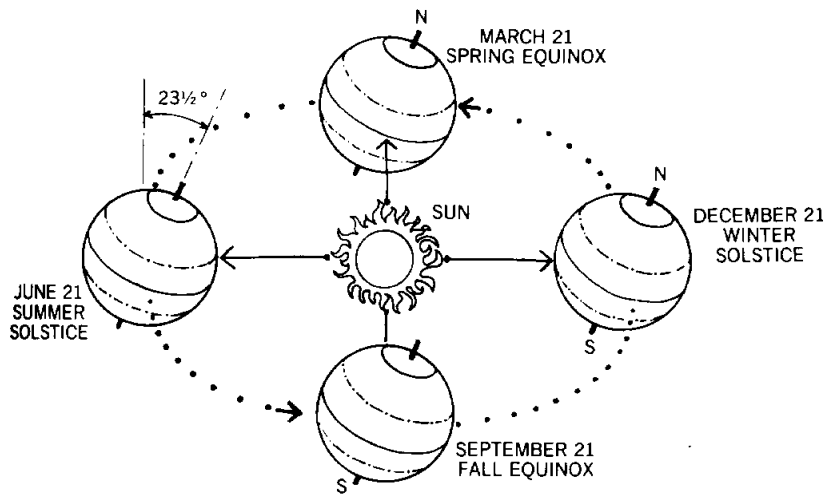


그림 2 지구 자전축의 경사로 인한 계절의 변화

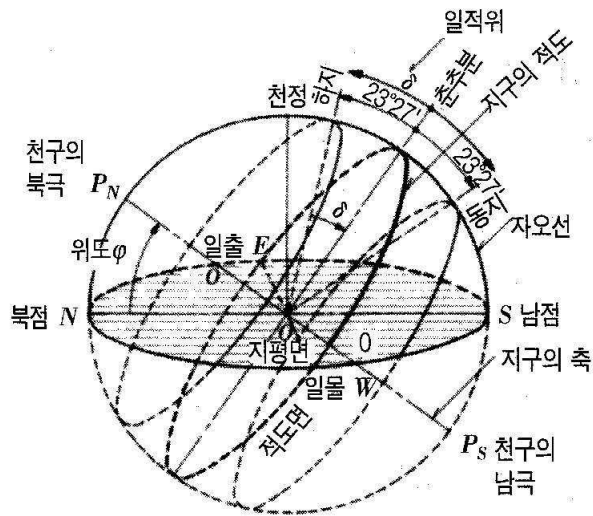


그림 3 천구

태양의 위치를 정확히 알고자 하는 것은 건물내외로의 일사에 의한 영향을 파악하기 위한 것으로 지상면에서 본 태양의 위치, 일사가 오는 방향을 의미하며, 태양방위각과 태양고도로 나타낸다.

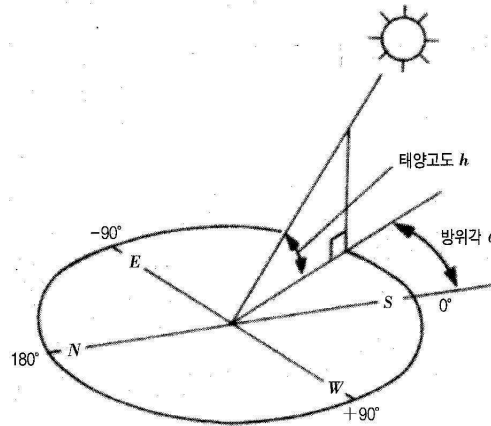


그림 4 태양방위각과 태양고도

그림 3은 태양방위각과 태양고도를 나타낸 것이다. 태양방위각과 태양고도는 관측점의 위도와 시각을 변수로 계산가능하며, 다음의 식으로 나타낸다.

$$\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau$$

$$\sin A = \frac{\sin \tau \cdot \cos \delta}{\cos h}$$

여기서,

h : 태양고도(도) (한계점 : $0^\circ \leq h \leq 90^\circ$)

ϕ : 관측점의 위도(도) (한계점 : $-90^\circ \leq h \leq 90^\circ$)

δ : 태양적위 (하지 : $+23.5^\circ$, 춘·추분 : 0° , 동지는 -23.5° ,

한계점 : $-23.5^\circ \leq h \leq +23.5^\circ$)

t : 시각 (24시간이 360도°, 1시간은 15°, 오전은 -, 오후는 +,

한계점 : $-180^\circ \leq h \leq +180^\circ$)

A : 태양방위각 (한계점 : $-180^\circ \leq h \leq +180^\circ$)

태양이 한번 일주하면 (정확히는 지구의 자전이 1회전 하면) 1일이지만 계절에 따라 1일의 길이는 같지 않으며 정확히 24시간은 아니다. 따라서 태양의 남중고도에 따라서 계산하는 진태양시와 지역으로 구분하여 기준점의 시간을 통일해서 사용하는 지방시, 지역별 표준시로 구분된다.

진태양시(T)는 태양이 관측점의 자오선상, 즉 태양의 남중에서 다음 남중까지의 시간을 말하며 1일이라 하는 것이다. 그리고, 진태양시를 1년에 걸쳐 평균한 값을 1일 24시간으로 한 시각을 평균태양시라하며, 진태양시와 평균태양시의 편차를 균시차라 한다.

지방시는 지방에 따라 다르기 때문에 그 지방의 자오선상에 태양이 위치한 시간을 나타내며, 중앙표준시(T_s)는 위도가 15도 다를 때 마다 남중시는 1시간씩 다르지만 동일 국가를 중심으로 시간을 고려하면 지방시는 불편하므로 대표지역의 경도를 기준하여 태양의 남중시각을 Standard Time or Clock Time이라 한다. 각각의 시각은 다음의 식으로 계산한다.

$$T = T_s + e + \frac{L-135}{15}$$

e : 균시차(분)

L : 경도(도)

일영방위각(A_s)은 태양방위각 A 와 180° 가 되는 쪽이며 태양방위각은 지방진태양시로 구하므로 중앙표준시의 어느 시각에 있어서 일영을 방위를 구할 경우 진태양시를 구하는 식에서 시각보정을 한 뒤 일영방위를 구한다.

$$A_s = A + 180^\circ$$

일영의 길이(l_s)는 태양고도에 의해 나타나는 그림자의 길이를 나타내는 것으로 봉의 길이(l)을 기준으로 일영길이는 다음과 같이 계산한다.

$$l_s = l \cdot \coth$$

일영곡선은 지상에 수직으로 세운 막대 끝의 그늘위치를 방위각과 그늘길이에 의해 구하고 계절마다의 변화를 상세하게 표시한 곡선이다.

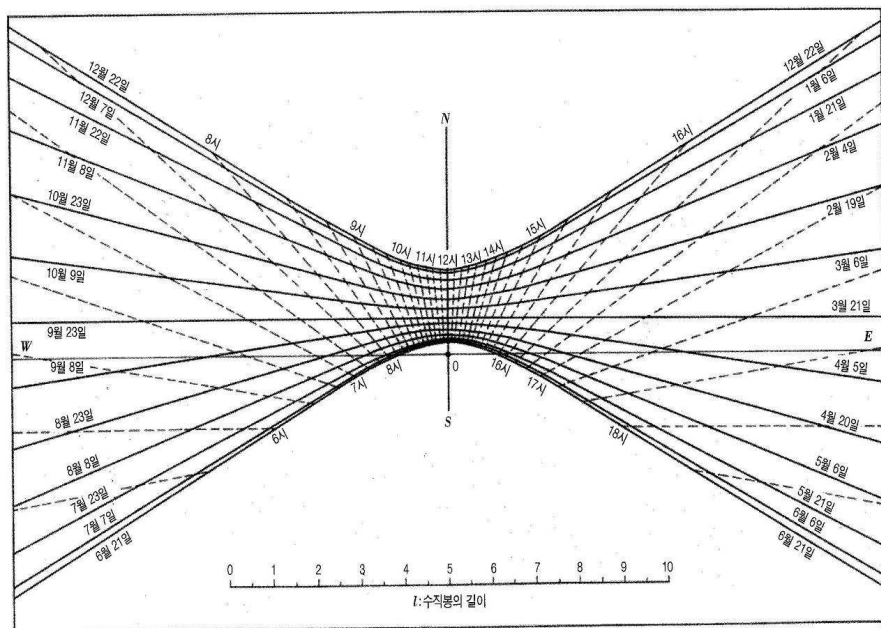


그림 5 태양일영 곡선

그림 4는 태양에 의한 일영곡선을 나타낸 것이다. 그림에서 1년을 통해 종일일영이 되는 것을 영구일영이라 하며, 일반적으로 동절기를 기준으로 일출에서 일몰까지의 하루종일 일조가 없는 것을 종일일영이라 한다.

일조의 계산에 의해 남측 건물에 대한 일조방해를 받지 않도록 인동간격이 필요하며 일반적으로 아파트의 인동간격은 “동지를 기준으로 하루 4시간의 일조가 가능”하도록 규정하고 있다.

평지에서의 인동간격은 다음의 식에서 구한다.

$$L = \frac{\cos(\alpha - \omega)}{\tan \gamma + \tan \Theta \cdot \cos(\alpha - \omega)} \cdot H$$

경사지의 인동간격은 다음의 식에서 구한다.

$$L' = \frac{\cos(\alpha - \omega)}{\tan \gamma + \tan \Theta \cdot \cos(\alpha - \omega)} \cdot H - \frac{\gamma'}{\tan \gamma}$$

상기 식에서 기호는

γ : 태양고도

$\alpha - \omega$: 건물 법선면 방위각 차

H : 남쪽의 건물 높이

Θ : 대지의 경사도

γ' : 지면에서 개구부 하단부까지의 높이

L : 인동간격

1.3 예상온열쾌적감(PMV)

온열환경 6요소의 복합효과를 평가하기 위해 Fanger(1970)는 피험자를 사용한 실험과 인체 열 평형식을 결합하여, 온열감각을 정량화 된 수치로 나타내는 PMV를 예측하는 식을 제안하였다. 그림 5는 PMV의 이론을 나타낸 것이다. PMV이론은 온열환경의 6요소를 대입하면 그 조건에서 따뜻하거나 혹은 춥다고 느끼는 것을 수치로 정량화한 것으로 인체의 열 부하 L에 근거하여 산출된다.

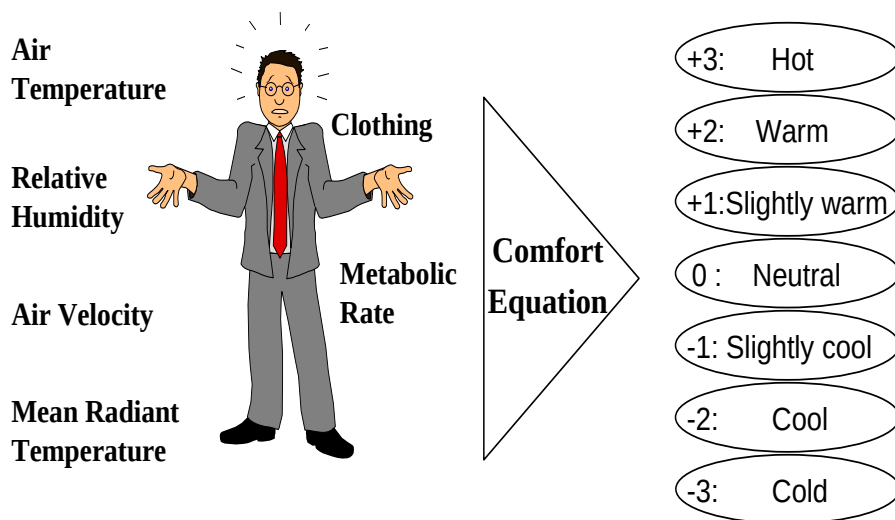


그림 6 PMV의 개념

인체의 열 부하란 열적 중립 상태에서부터 가상의 편차를 열량으로 나타낸 것이다. 실제 인체는 생리학적으로 피부온도와 증발열 손실량을 조정하여 열 평형을 유지하므로 인체의 열 평형식으로 부터 인체의 열 부하가 산출된다. Fanger는 인체의 열부하 L이 변화하면 온냉감 신고 Y가

변화한다고 생각하여 인체열부하와 온냉감 신고치의 관계를 나타내는 미분방정식을 작성하였다. 여기서 온냉감 신고치가 중립($Y = 0$)일 때 열부하(L)는 0이라는 초기조건을 대입하여 구해진 Y 를 PMV라고 하였다.

$$\frac{\delta Y}{\delta L} = 0.303e^{-0.036M} + 0.028$$

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)$$

$$\begin{aligned} & (M - W - E_{sk} - E_{res} - C_{res} - R - C) \\ & = (0.303e^{-0.036M} + 0.028) \\ & \times [(M - W) \\ & - 3.05 \times 10^{-3}(5733 - 6.99(M - W) - P_a) \\ & - 0.42((M - W) - 58.15) \cdots \cdots E_{sk} \\ & - 1.7 \times 10^{-5}M(5867 - P_a) \cdots \cdots E_{res} \\ & - 0.0014M(34 - t_a) \cdots \cdots C_{res} \\ & - 3.96 \times 10^{-8}f_{cl}((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) \cdots \cdots R \\ & - f_{cl}h_c(t_{cl} - t_a)] \cdots \cdots C \end{aligned}$$

표 3 PMV 척도

PMV	English	Korean
+3	hot	덥다
+2	warm	따뜻하다
+1	slightly warm	약간 따뜻하다
0	neutral	중립
-1	slightly cool	약간 서늘하다
-2	cool	서늘하다
-3	cold	춥다

표 3은 PMV 스케일을 영어 및 한국어로서 표현한 것으로 본 연구에서 설문지에 사용된 표현이다. 그러나 한국어 표현의 경우 영어와의 어감 차이로 인하여 아직 완전히 정립이 되어 있지 않은 실정이지만, 실험을 통해 피험자가 전신온냉감 및 쾌불쾌감을 표현하기에는 어느 정도의 타당성은 있다고 생각이 된다.

PMV는 재실자 다수의 평균적인 온냉감을 표시한 것이라는 사실을 유의해야 하는데, $PMV = 0$ 가 되는 환경조건에서도 온열적으로 만족을 나타내지 않는 사람이 있다. Fanger는 피험자 실험을 통해 온냉감 -1, 0, +1 이외의 값을 신고한 사람의 비율을 불만족율(PPD)로 하여 PMV와 관련된 식을 유도했으며, PMV값에 따른 재실자의 PPD를 아래의 식으로 계산하였다.

$$PPD = 100 - 95 \exp[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)]$$

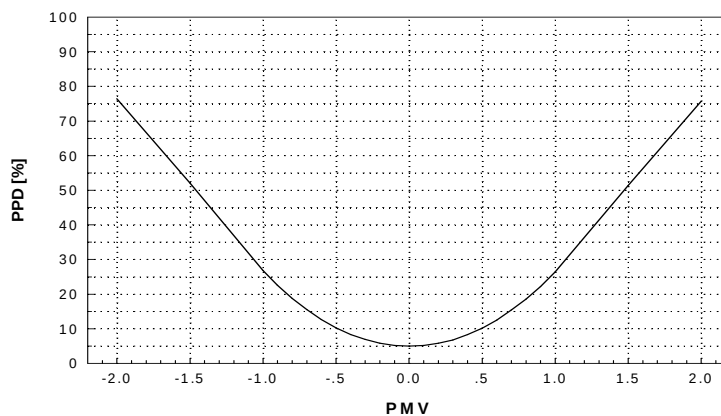


그림 7 PMV에 따른 PPD

ISO-7730 에서는 그림 6에서 나타난 것처럼 PMV, PPD의 값으로서 $-0.5 < \text{PMV} < +0.5$, $\text{PPD} < 10\%$ 를 권장하고 있지만, $\text{PMV} = 0$ 에서도 5%의 불만족자가 있음을 예측할 수 있다. PMV는 다른 온열지표와 달리 직접 감각량을 표시하기 쉬우며, 또한 PPD에 의해 불만족율도 간단하게 예측할 수 있기 때문에 광범위하게 사용되는 온열환경지표이다.

2. 실내열환경 예측

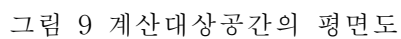
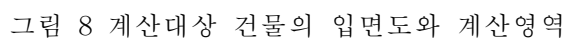
2.1 실내 열환경 예측 프로그램의 개요

계산에 활용된 프로그램은 일본 Cradle사의 “STREAM”으로 현재 일본에서 실내 열환경 예측을 위한 유체계산에 대해서 주로 활용되고 있는 프로그램이다. 프로그램의 특징은 유한체적법을 이용하여 삼차원 열유체를 해석하는 프로그램으로 1984년 4월부터 판매를 개시하여 실내공간유동과 기기내부 흐름 등 여러 분야에서 활용되고 있으며, 압축성과 비압축성 유체에 대해서 계산이 가능한 것이다.

2.2 주요계산 조건

계산의 대상이 되는 건물은 서울 도곡동에 위치한 공동주택내의 스포츠동으로 계산위도 37.34°경도 127°에 해당하며 4층에 위치한 휘트니스센터의 페리메타영역을 기준으로 계산을 수행하였다.

그림 7과 그림 8은 각각 계산 대상공간의 입면과 평면을 나타낸 것이다.



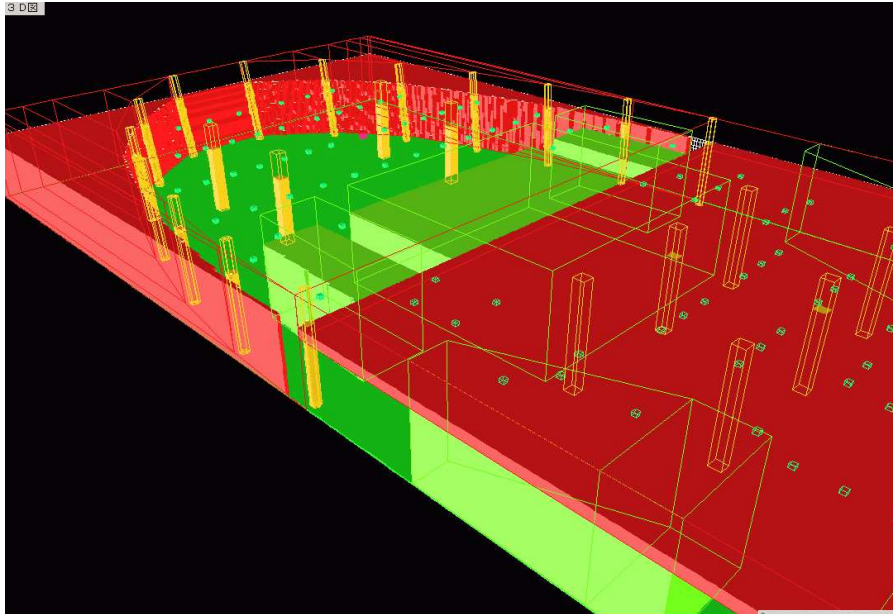


그림 10 계산모델의 작성

그림 9는 설계도면을 기준으로 계산모델을 구성한 것을 나타내며, 주요 계산요소는 표 4에 나타내었다.

표 4 주요계산 요소

계산요소	결정방법
계산모델	표준k-ε난류 모델
계산 시간	60 min
타임스텝 간격	1sec
오차판정	기류0.1%, 온도0.01℃의 오차

2.3 토출기류속도에 관한 검토

그림 11과 12는 토출기류를 1m/s 로 하였을 경우에 대한 기류분포를 나타낸 것이다. 평면 1.1m 에서의 기류분포는 적절한 것으로 나타나지만 수직분포를 보면 실제 토출된 기류가 흡입구로 직접유인되는 현상이 나타남을 알 수 있다.

그림 13과 14는 토출기류를 설계적용값인 1.7m/s 로 하였을 경우에 대한 기류분포를 나타낸 것이다. 평면 1.1m 에서의 기류분포에서는 0.25m/s 이상의 기류를 나타내는 영역이 있으며 흡입구에 직접유인되는 현상은 적은 것으로 나타났다. 본 계산에서는 높은 천정고를 고려하여 확산방식이 아닌 토출구를 고려하여 계산한 것이므로 확산을 고려한 토출구를 활용한다면 적절한 설계적용값을 활용하더라도 문제가 발생하지 않을 것으로 판단된다.

File : Tower_Palace_101.fld
Cycle: 101
Time : 10.100002

CRADLE

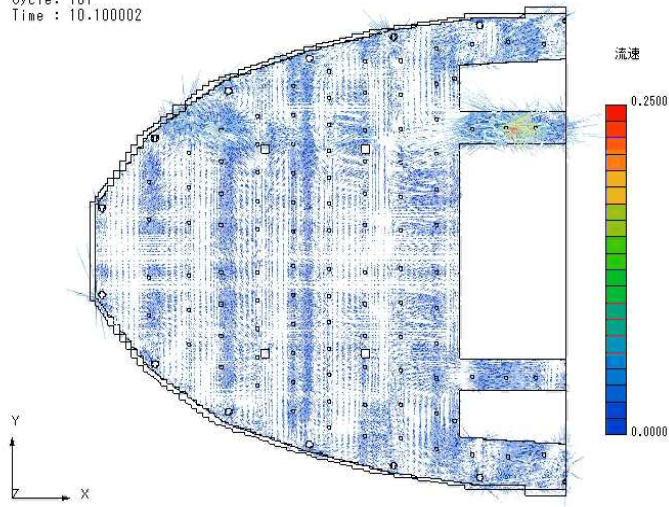


그림 11 실내기류분포(1m/s - 1.1m 높이 평면)

File : Tower_Palace_101.fld
Cycle: 101
Time : 10.100002

CRADLE

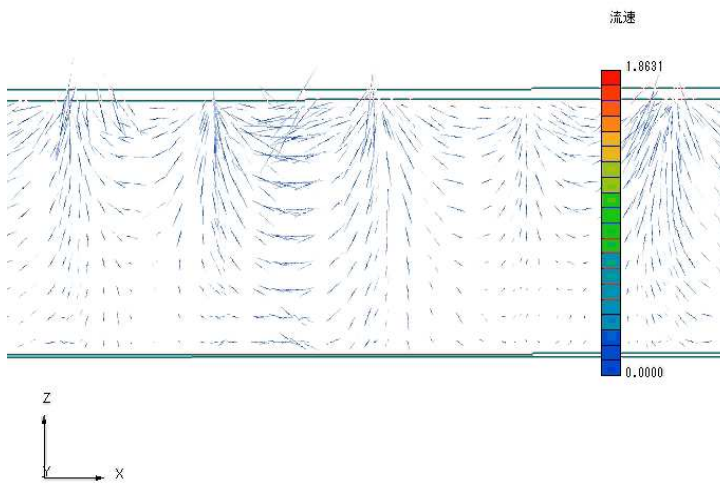


그림 12 실내기류분포(1m/s - 수직)

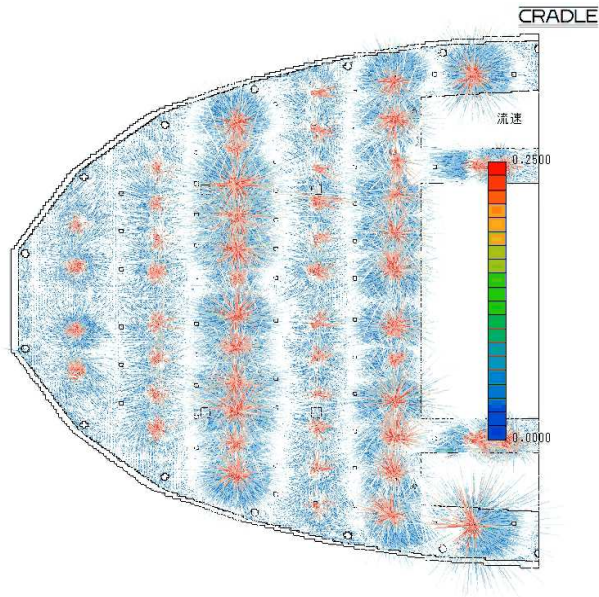


그림 13 실내기류분포(1.7m/s - 1.1m 높이 평면)

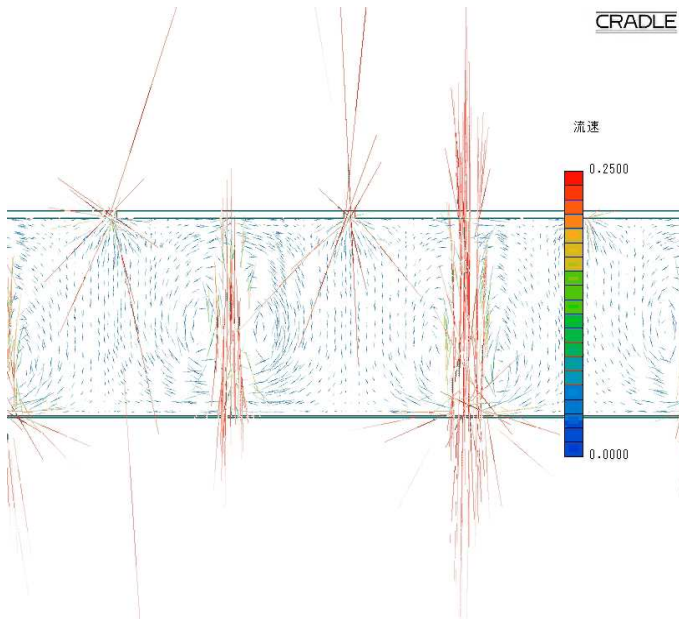


그림 14 실내기류분포(1.7m/s - 수직)

2.4 실내 온도분포 검토

그림 15는 FCU가 없을 때 실내의 온도분포를 나타낸 것이다. 외벽의 조건이 대부분 유리로 구성되어 있으므로 페리메타영역의 온도가 상당히 낮아짐을 알 수 있다. 그리고, 그림 16은 FCU를 도입한 경우 실내의 온도분포를 나타낸 것으로 FCU에 의해서 페리메타의 열환경이 많이 개선됨을 알 수 있다.

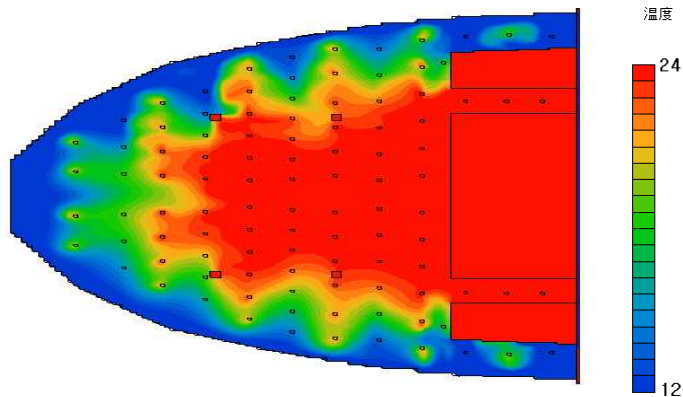


그림 15 실내온도분포 (FCU 없음)

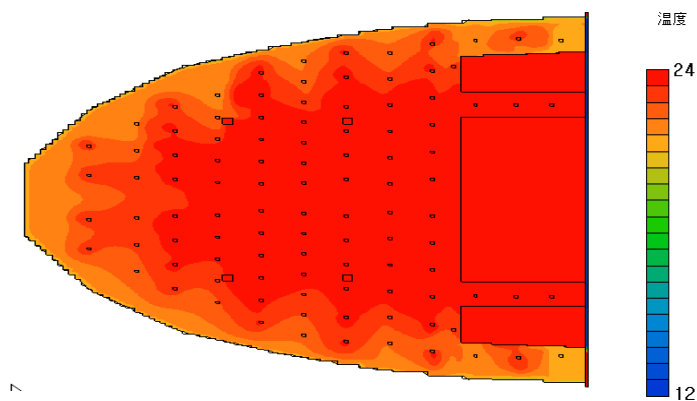


그림 16 실내온도분포 (FCU 있음)

3. 일사에 따른 실내 열환경 예측

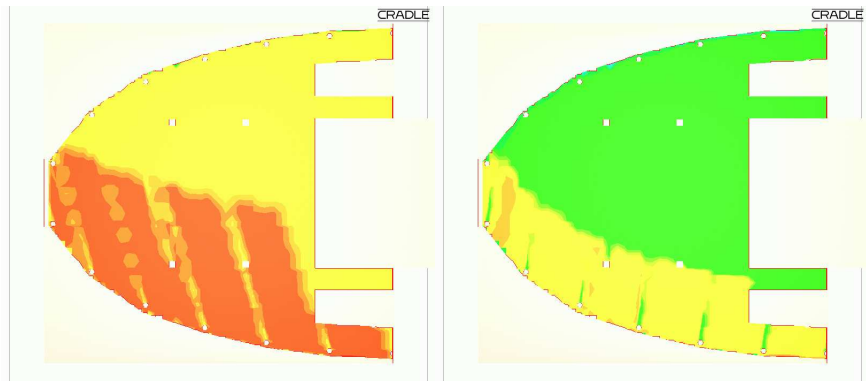
3.1 일사유입에 따른 실내열환경 해석

주변건물이 없는 경우 동절기 가조시간에 건물이 일조를 받는 경우 실내로 유입되는 영역을 예측하기 위한 계산을 수행하였으며 그 결과는 그림 4와 같다.

계산의 결과 오전 9시부터 일조가 실내에 영향을 미치며 오후 5시에는 실내측으로 약 10m이상의 일사 유입이 있을 것으로 예상된다. 동절기 태양 고도가 낮아 실내로 유입되는 상당한 일사열로 인한 열환경의 악화가 예상되며, 실내 일사열 유입을 차단하기 위한 블라인더 또는 차폐막의 설치 필요할 것으로 판단된다.

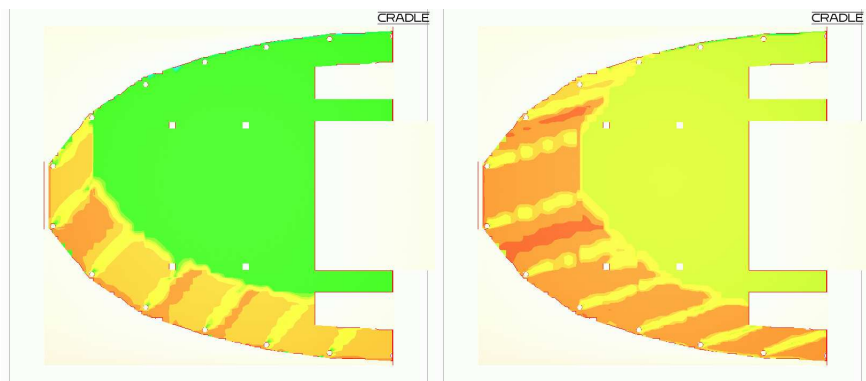
주변건물이 없는 경우 하절기 가조시간에 건물이 일조를 받는 경우 실내로 유입되는 영역을 예측하기 위한 계산을 수행하였으며 그 결과는 그림 5와 같다. 동절기와는 달리 태양 고도가 높아짐에 따라 실내에 유입되는 영역이 많지 않을 것으로 판단되나 가조시간이 길어지며 투과되는 유리창의 영역도 상당히 넓어지는 것을 알 수 있다.

그리고, 전체적으로 일몰시간에 실내 유입열량이 상당히 많음을 알 수 있었다.



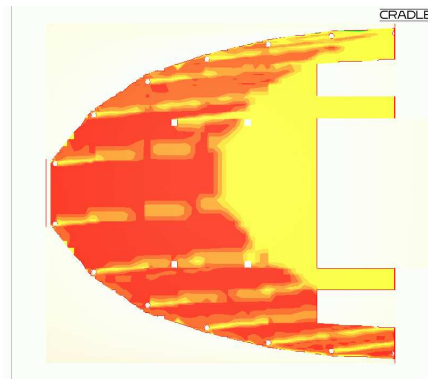
오 전 9시

오 전 11시



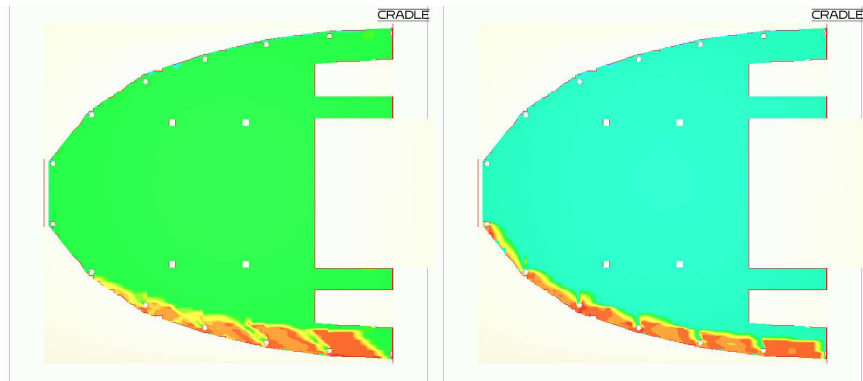
오 후 1시

오 후 3시



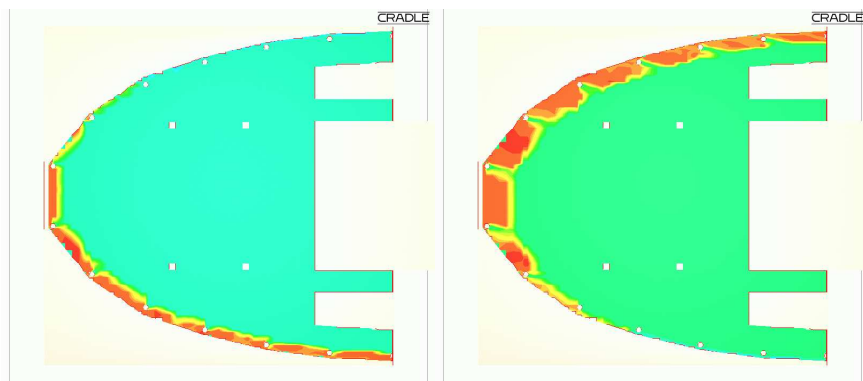
오 후 5시

그림 17 주변건물이 없는 경우 일사유입 영역(동절기-동지)



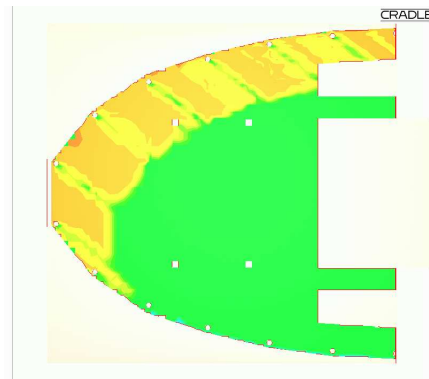
오 전 9시

오 전 11시



오 후 1시

오 후 3시



오 후 5시

그림 18 주변건물이 없는 경우 일사유입 영역(하절기-하지)

3.2 주변건물에 의한 일조환경분석

주변건물의 영향을 고려하기 위한 주변 건물의 배치도를 그림 19에 나타내었다. 건물이 평지에 주변건물이 없을 때를 고려했을 때 실내의 상당한 영역이 투과일사의 영향을 받아 복사불균일 환경이 예상되었으나 주변건물이 상당히 밀집되어 있어 가조시간내에 건물이 받는 일조시간이 아주 적을 것으로 판단되며, 주변 건물의 일영을 고려할 필요가 있음을 알았다. 주변건물의 일영을 계산하기 위한 모델을 그림 20에 나타내었다. 주변 건물의 오전 9시 일영도를 그림 21과 22에 각각 나타내었다.

주변건물의 일영을 고려하지 않은 평지를 가정하여 실내로 유입되는 일사를 계산하였을 경우, 하절기에 비하여 동절기에 낮은 태양고도로 인한 실내 일사유입이 상당량 발생할 것으로 판단되었으며, 주변건물의 일영시간을 동시에 고려하면 주변건물이 고층이며 일영의 영역이 상당히 길어지므로 실제 스포츠센터의 가조시간은 상당히 적음을 알 수 있었다.

그리고, 하절기의 경우 태양고도가 높은 시간대인 정오의 전후에는 실제 일영이 없어도 실내로 유입되는 일사는 거의 없을 것으로 판단되며, 오후 18시 이후까지 일조가 있으므로 태양고도가 낮아지는 시점에서의 일사 유입을 판단할 필요가 있다. 본 연구에서는 실제 오후 5시 이후 건물이 일조를 받는 것을 알 수 있으며 외기 고온의 영향과 일조의 영향으로 인한 페리메타영역의 열환경 악화를 예측할 수 있었다.

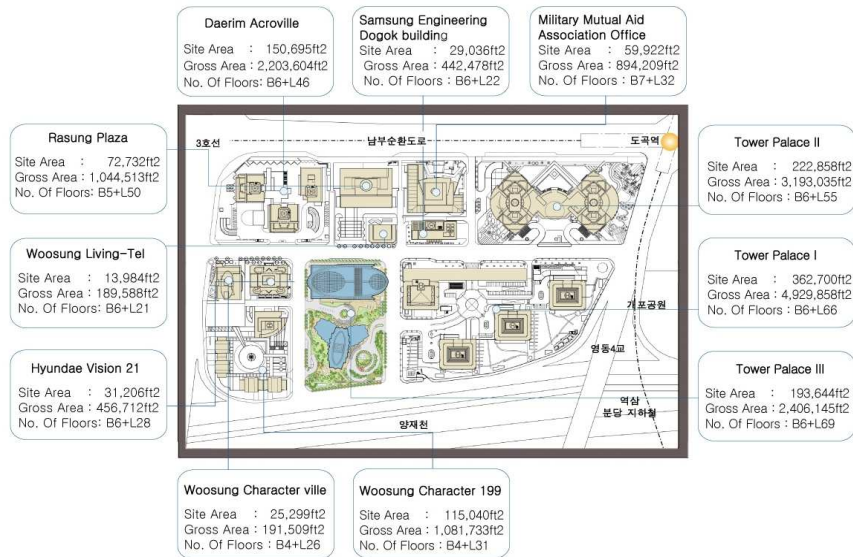


그림 19 주변건물 배치도

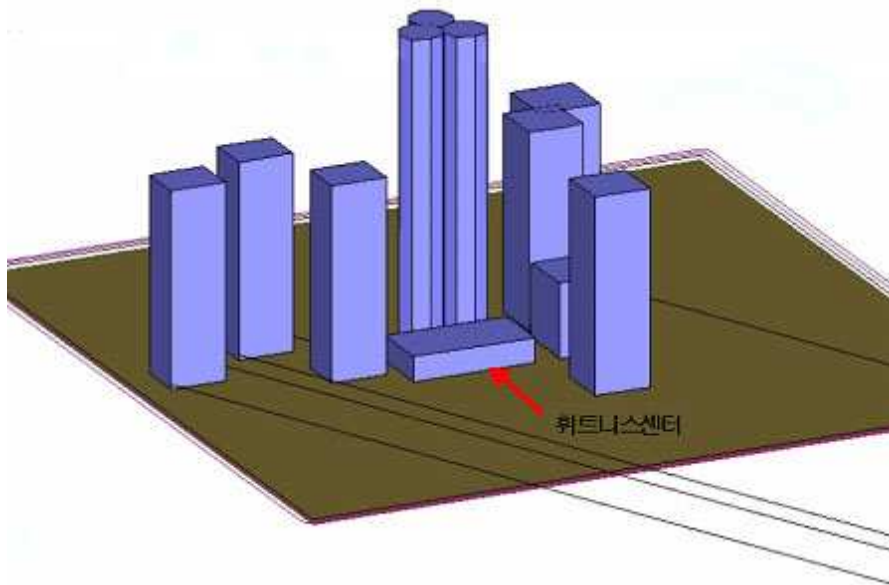


그림 20 일영계산 모델



그림 21 주변건물의 일영도(동지 오전 9시)

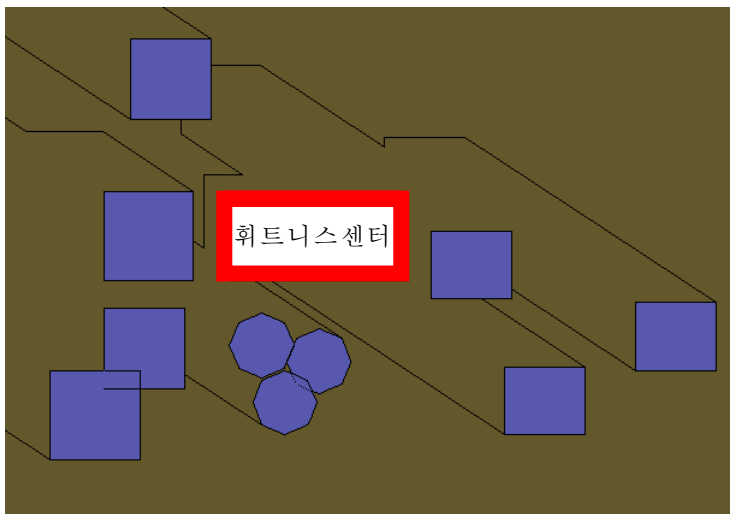


그림 22 주변건물의 일영도(하지 오전 9시)

또한, 동절기의 경우 대부분의 시간에 주변 건물에 의한 일영에 의해 스포츠센터에는 일조가 없을 것으로 판단되지만, 일영이 없는 시간동안

20~30분 정도 일영이 없는 일조시간으로 낮은 태양고도로 인하여 실내로 일사가 유입되는 일사영역이 상당히 넓어짐을 예측할 수 있다.

따라서, 실내 열환경에서 복사불균일에 따른 불쾌영역이 발생할 가능성이 있으며 차양 등과 같은 일사차폐방법을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3.3 재실자의 온열쾌적감 예측

그림 23은 실내에 일사가 유입되는 시점에서의 복사불균일에 따른 열환경의 악화를 나타낸 것이다.

계산에서 일조가 없는 시간에는 인체에서 느끼는 PMV 분포 편차가 크지 않은 것으로 나타났으나, 일조가 있는 시간에는 PMV 분포 편차가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 실내로 유입되는 일사에 의하여 복사불균일에 따른 국부불쾌감을 유발할 수도 있는 것으로 나타났다. 또한, 일조가 있는 경우에 대한 계산에서 머리부분의 PMV값이 낮게 나타난 것은 어깨 아래쪽으로 일사를 받으며, 실내에 유입되는 일사열이 재실자의 목 위부분에 도달하지 않는 것을 나타낸다.

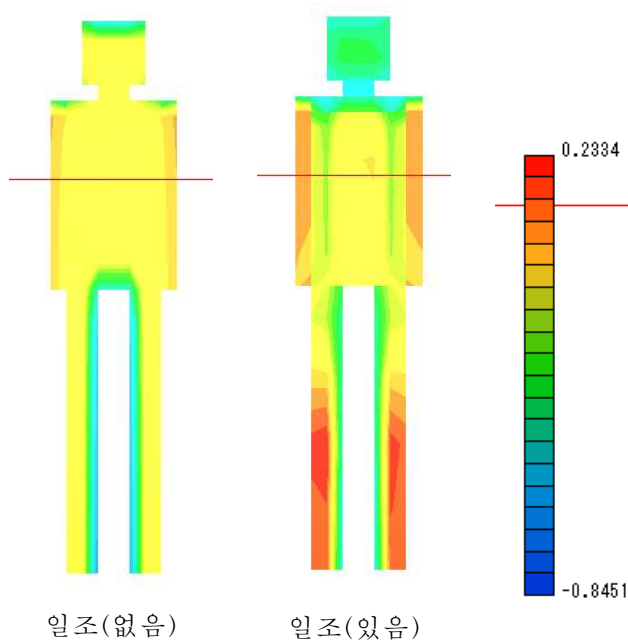


그림 23 일사에 의한 복사불균일 분포

4. 결로방지를 위한 모형실험

4.1 Low-e 유리의 특성

Low-e유리는 반사 유리나 컬러 유리를 은으로 코팅한 것으로, 열의 이동을 최소화시켜주는 에너지 절약형 유리이다. Low-e유리는 특성상 단판으로 사용할 수 없으므로 반드시 복층으로 가공해야 한다. 시공할 때는 코팅면이 내판 유리의 바깥쪽으로 오도록 해야 한다.

Low-e유리의 경우 창을 통해 들어오는 태양광선은 대부분 안으로 투과시켜 실내를 밝게 유지할 수 있다. 또 겨울철이면 안에서 발생한 난방열이 밖으로 빠져나가지 못하도록 차단시키고, 여름에는 코팅막이 바깥의 열기를 차단하는 역할을 하므로 냉·난방비를 줄일 수 있는 것이 장점이다.

또한, 코팅면이 견고하여 자르거나 붙이는 등의 가공과정에서의 작업효율이 우수하다. 주택이나 일반 건축물의 창이나 채광을 위한 용도로 쓰이며, 에너지 절약을 위한 용도로도 많이 쓰인다. 특히 24시간 냉난방 가동 중인 호텔, 병원 등에 적합하다.

4.2 모형실험의 개요

유리창 표면의 결로를 검토하기 위하여 일반복층유리 24mm(6+12+6)를 대상으로 표면결로 발생에 대한 실험을 수행하였으며 실험결과를 바탕으로 FCU에 의한 결로방지 대책을 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

시험은 30년간 동절기 서울의 최저온도를 기준으로 실시하였으며 표 5에 기상청에서 입수한 최저기온을 나타내었다. 기상청의 자료에 따르면 1986년 1월 5일 서울의 최저기온이 -19.2°C 이다.

따라서, 본 시험에서는 유리창의 실내면의 결로 발생 유무를 파악하면서 에너지 절감량의 상대적인 평가를 위해서 실외조건을 5°C 에서 5°C 씩 단계별로 내리면서 -20°C 까지 실시하였으며, 실내 조건은 24°C , 상대습도 50% 설정하였다. 유리창면의 전열량을 분석하기 위해서 유리창면의 온도 변화가 거의 없는 정상에 가까운 상태가 되는 시간을 고려하여 각 단계별로 1시간 이상의 지속시간을 두었다.

표 5 동절기 서울의 최저기온

1973 년			1974 년			1975 년			1976 년			1977 년		
-17.4°C	12월	24일	-15.5°C	1월	24일	-11.8°C	1월	18일	-18.5°C	12월	27일	-16.8°C	2월	16일
1978 년			1979 년			1980 년			1986 년			1987 년		
-16.0°C	2월	1일	-13.0°C	2월	2일	-16.2°C	12월	29일	-19.2°C	1월	5일	-15.1°C	1월	14일
1988 년			1989 년			1990 년			1991 년			1992 년		
-12.9°C	2월	3일	-11.2°C	1월	28일	-17.1°C	1월	25일	-15.0°C	2월	23일	-9.7°C	12월	23일
1993 년			1994 년			1995 년			1996 년			1997 년		
-11.2°C	12월	15일	-12.6°C	12월	16일	-11.1°C	1월	30일	-13.8°C	2월	2일	-13.7°C	1월	22일
1998 년			1999 년			2000 년			2001 년			2002 년		
-15.4°C	1월	24일	-12.3°C	2월	3일	-12.1°C	1월	7일	-18.6°C	1월	15일	-12.0°C	1월	3일

4.3 모형실험 장치의 구성

결로를 시험하기 위한 장치의 구성과 시험에 활용된 장비들을 각각 표 6과 그림24에 나타내었다. 시험을 위한 장치는 부경대학교 용당캠퍼스에 위치한 건축환경설비연구실에 설치되었으며, 실내와 실외로 구분되는 두 개의 Room으로 구성하였다. 그리고 각각의 Room은 향온향습기와 냉동장치로 실내의 온습도 및 실외의 기온을 조절하도록 하였다.

두 개의 Room 사이에 테스트 섹션을 두어 1200mm×900mm의 일반복층유리를 배치하였으며, 그림 25는 테스트 섹션과 유리창의 설치전경을 나타낸 것이다.

표 6 실험장비

장비명	용도	비고
C-C열전대	온도 측정	Φ3mm
데이터로거	온습도데이터 수집	FLUKE NatDAQ
화상카메라	시간별 결로판정	삼성
디지털 카메라	각 케이스별 결로판정	Nikon Coolpix 950
PC	데이터 저장	삼성노트북, 조립 PC
냉동장치	실외측 온도조절	자체제작
향온향습기	실내측 온습도조절	범양

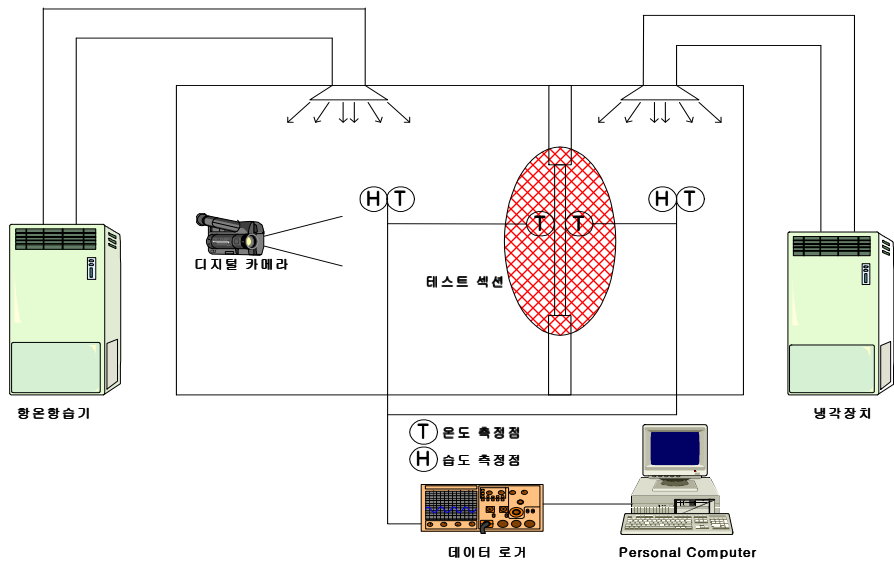


그림 24 시험장치의 구성

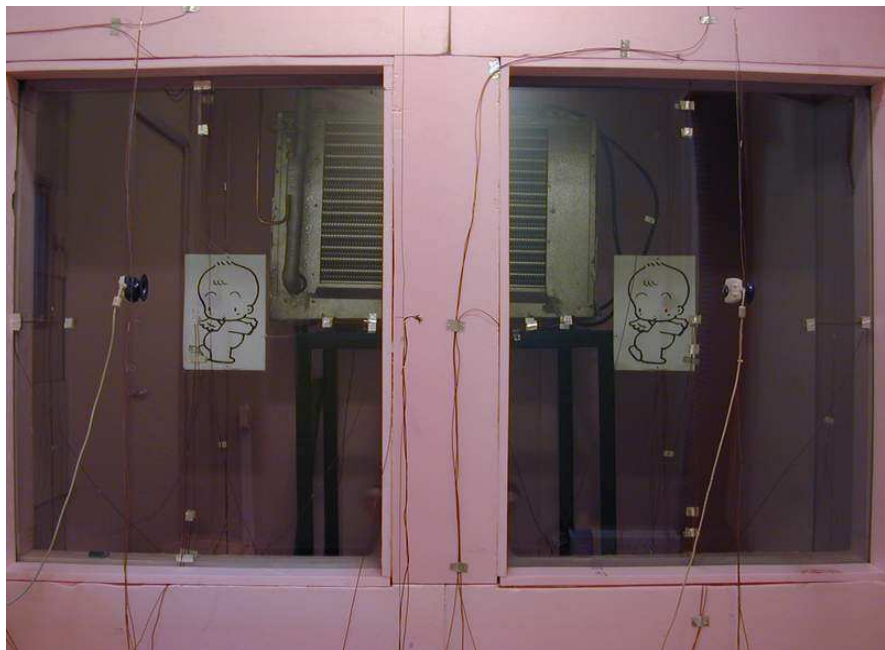


그림 25 테스트섹션과 유리창의 설치 전경

4.4 모형실험의 방법

실험방법은 실내외 공기의 온도와 유리창 표면의 온도를 측정하기 위하여 C-C열전대($\Phi 3\text{mm}$)를 사용하였으며 데이터로거(Data logger NetDAQ : FLUKE)로 받아들여 PC에 저장하였다. 각 측정위치는 KS규정 “창호의 결로방지 시험 방법 : KS F 2295”의 규정을 충분히 고려하여 설정하였으며, 그림 26과 그림 27에 유리면과 공기의 측정위치를 나타내었다.

전체적인 유리면의 결로를 판정하기 위해서 결로의 단계를 부분적인 결로와 전체적인 결로로 나누어 각 시험 케이스의 단계가 끝나는 시간에 디지털 카메라로 촬영하여 판정하였으며, 결로의 양을 판정하기 위하여 화상 카메라를 활용하였다.

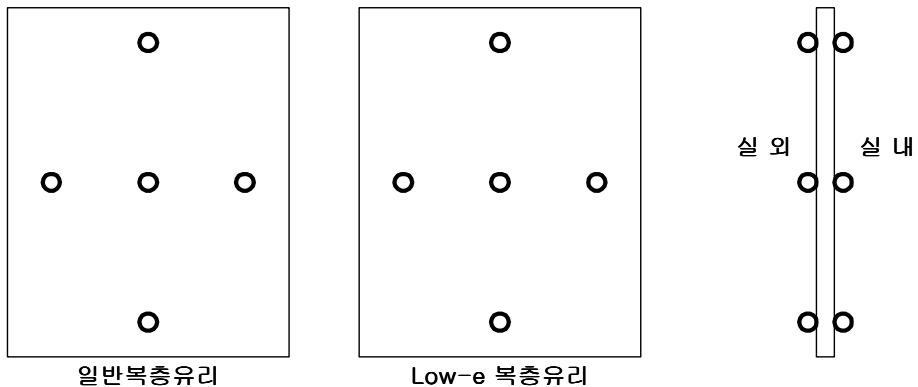


그림 26 유리창면 온도측정 위치

4.5 모형실험의 결과

본 실험은 일반복층유리와 Low-e유리 24mm(6+12+6)를 대상으로 표면 결로 외기온도 강하에 따른 실내표면 결로 발생량을 검토한 실험으로 다음과 같은 결과가 도출되었다.

실험에 적용된 온도는 1986년 1월 5일 최저기온 -19.2°C 로 중부지방인 서울의 30년간 최저온도이며, 본 실험에서는 -20°C 로 실외측 온도를 5°C 에서 5°C 씩 단계별로 내리면서 제어하였다. 또한, 실내 조건은 24°C , 상대 습도 50% 설정하였으며, 각 단계별로 1시간 지속시간을 두어 유리창 실내면의 결로 발생 유무를 파악하였다.

실험의 결과 보통유리에서는 외기온이 영하 10°C 가 되었을 때 결로가 부분적으로 발생하고, 영하 15°C 에서 전면으로 확대되었으며, Low-e 유리는 결로가 발생하지 않는 것으로 나타났다. 그림 27과 그림 28은 각각 실내온습도 24°C , 50%의 상황에서의 실내외의 온도 변화와 실내외 유리면의 온도를 나타낸 것이다.

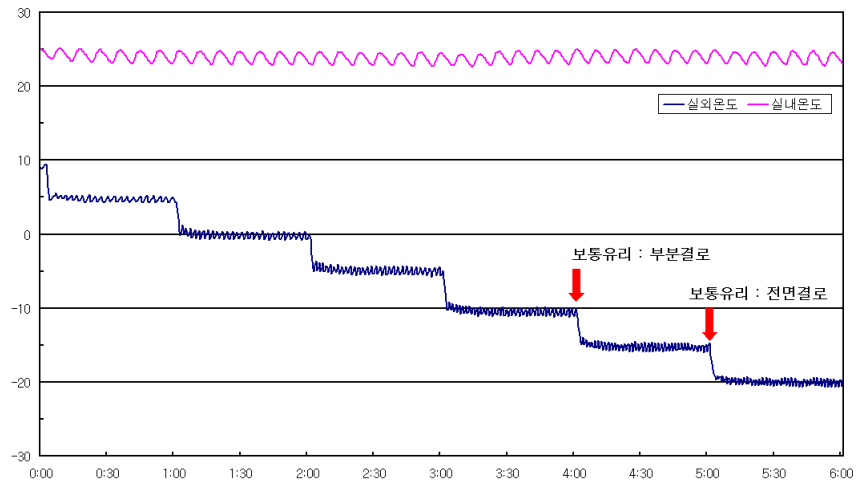


그림 27 실내외의 온습도와 결로의 발생상태

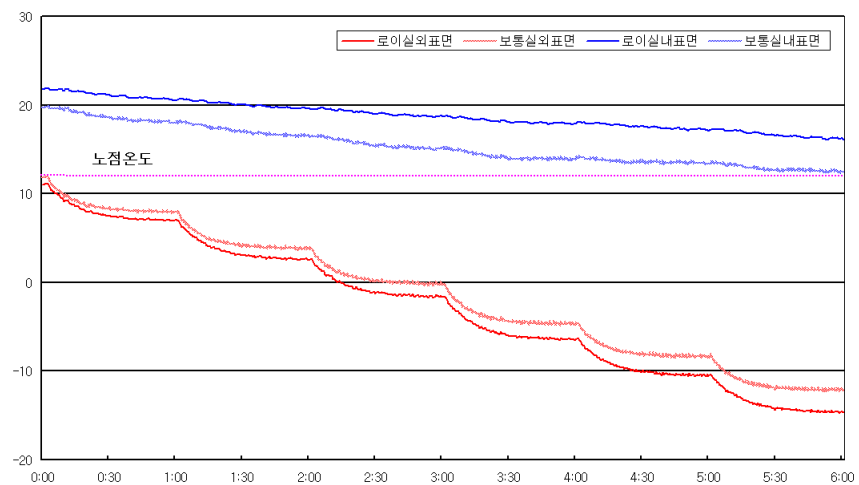


그림 28 유리의 내외 표면온도

Ⅲ 결론

본 연구는 서울 도곡동에 위치한 스포츠센터내 휘트니스센터의 열환경을 외피조건과 주변건물의 영향을 고려하여 실내 열환경을 예측함으로써 문제점과 해결방안을 제시하기 위하여 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 계산의 대상이 되는 스포츠센터는 천정고가 높으므로 재실공간에 도달하는 기류를 발생시키기 위해서는 고속의 토출이 필요할 것으로 판단 된다. 특히, 흡입구와 취출구가 천정면에 설치되어 있으므로 난방시 토출기류가 흡입구의 유인에 의해 제기능을 발휘하지 않을 경우도 있을 것이다. 그리고, 만일 인체의 무감기류가 0.25m/s 임을 감안할 때 기류속도가 너무 빠르게 되면 재실자들이 토출기류에 의한 드래프트를 느낄 수도 있음을 감안하여야 한다. 본 계산에서는 1 m/s 의 토출기류를 발생시킬 경우 실내로 유입되는 공기가 바로 배출되는 현상이 일어나며, 설계용량에 해당하는 1.7m/s 의 기류를 발생시킬 경우 충분한 도달거리를 확보할 수 있었다. 따라서, 토출기류의 확산을 유도하게 되면 적절한 실내환경을 유지할 것으로 판단된다.

② 주변건물이 없을 경우 가조시간에 실내에 유입되는 일사량은 높은 층고에 의해 약 10m 이상의 길이로 실내에 유입될 가능성이 있어 페리메

타영역의 열환경 악화가 예상되는 것이 사실이다. 그러나, 주변건물의 고층이며 인접해 있으므로 실제 스포츠센터가 일조를 받는 가조시간이 상당히 적은 것으로 나타났으며, 하절기 오후 3시경부터 일몰시간까지 실내로 유입되는 일사가 존재하는 것을 알 수 있었다.

③ 실내재실자를 대상으로 실내에 유입되는 일사량을 고려하여 수치시뮬레이션을 수행한 결과, 실내로 일사가 유입되는 시간에는 온도의 영향뿐만 아니라 일사의 영향을 받아 국부적인 불쾌감을 유발하는 것으로 나타났다. 특히, 스포츠센터에서 이용자가 운동시설을 사용하여 인체의 발열이 발생하는 상황이므로 인체발열을 고려한 설정온도 20℃를 유지하더라도 일사에 의한 복사불균일이 발생되어 국부적인 불쾌감이 있을 것으로 판단된다. 따라서, 가조시간 일사열의 유입에 대비한 차양 또는 블라인드와 같은 일사차폐방법이 고려되어야 할 것이다.

④ 일반복층유리와 Low-e유리를 대상으로 외기온에 의한 유리표면의 결로실험을 수행한 결과 실내온도 24℃, 50%의 조건에서 보통유리에서는 외기온이 -10℃로 낮아지면 부분적인 결로가 발생하며, -15℃ 이하일 경우 전면결로가 발생하게 됨을 알 수 있었다. 그러나, Low-e유리에서는 결로가 발생하지 않으며, 공조용 실내 설정온도가 20℃, 습도 40%임을 감안하면 외기온이 -20℃ 일 때 부분결로는 발생할 것이나 전면결로가 이루어지지 않는 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] 일본 빌딩 에너지 종합관리기술협회 보고서(2002년)
- [2] 에너지경제 연구원 보고서(2002년)
- [3] 차재호 외, 에너지 총설, 한국에너지 정보센터, pp 513
- [4] PC를 이용한 공기조화계산법 : 宇田千 光弘 著, 琴鍾洙 金成完 編譯
(1993)
- [5] 건축물의에너지절약설계기준, 건설교통부 고시 제2003-314호, (2003)
- [6] Stream user manual, (2003)
- [7] A.P.Gagge, A.P.Fobelets, L.G.Berglund, 1986, "A Standard Predictive Index of Human Response to the Thermal Environment" ,
ASHRAE Transactions, Vol.92, Part 2, pp709~731.
- [8] C.P.Yaglou, W.E.Miller, 1925, "Effective Temperature with clothing,
ASHVE Transactions" , Vol.31, pp.89~99.
- [9] A.P.Gagge, Y.Nishi, R.R.Gonzales, 1973, "Thermal Comfort and
Moderate Heat Stress" , Building Research Station, pp.229~250.
- [10] ISO, 1984, "Noderate Thermal Environments -Determination of the
PMV and PPD Indicies and Specification of the Conditions for
Thermal Comfort-" , ISO Standard 7730
- [11] ASHRAE, 1981, Thermal Environmental Conditions for Human
Occupancy, ANSI/ASHRAE Standard 55-81

- [12] ASHRAE , 1992, "Thermal Environmental" , ANSI/ASHRAE Standard 55-92
- [13] 空氣調和・衛生工學會, 1995, “空氣調和 衛生工學 便覽 第 12版 1 基礎篇” , pp.467～492.
- [14] ASHRAE, 1989, "ASHRAE Handbook-1989 Fundamentals" , pp 8.1～8.29.
- [15] 人間-熱環境系篇集委員會 , 1989, “人間-熱環境系” , 日刊工業新聞社, pp.15～27.
- [16] S.Tanbe, 1988, "Thermal Comfort Requirements in Japan" , Ph.D, Waseda University
- [17] A.P.Gagge, A.C.Burton, H.C.Bazett, 1941, "A Practical System of Units for the Description of the Heat Exchange of Man with his Environment" , Science, pp.428～430.
- [18] 열전달(제2판) : 이택식, 이재현, 이준식 공역,喜重堂 (1996)
- [19] 井上宇市 : 空氣調和 ハンドブック 改訂4版 (1996)
- [20] 建築設備 : 朴晚澤著, 技文堂 (1994)
- [21] 建築環境工學 : 山田由紀子著, 培風館 (1989)
- [22] 熱傳達(第6版) : 工學博士 徐正閏 譯, 喜重堂 (1992)
- [23] 空氣調和 : 早稻田大學教授 工學博士 井上宇市 原著, 金孝經 譯, 東明社 (1995)
- [24] 建築設備演習 : 早稻田大學教授 工學博士 井上宇市 編, 東京 裳華房

發行 (昭和51)

[25] (わかりやすい)熱と流れ(SI版) : 一色尙次 著, 森北出版株式會社
(1993)

[26] 建築の熱設計 : 工學博士 小原俊平 著, 鹿島出版社, (昭和 49)

[27] 建築環境工學實驗用教材 II (建築設備計測演習編), 社團法人 日本建築
學會, 丸善株式會社 (昭和57)

[28] 空氣調和ハンニック(改訂3版) : 早稻田大學教授 工學博士 井上宇市
編, 丸善株式會社 (昭和60)

[29] P.O.Fanger, 1970, " Thermal Comfort-Analysis and Application in
Environmental Engineering-" , Danish technical press

[30] K.Fukai, S.Gotoh, J.Saito, H.Ito, 1992, "Experimental Study on
Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*) and
Japanese Thermal Sensation(Part 1-Analysis of Subjective
Judgement in Winter Experiment)" , The Society of Heating,
Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.48, pp.21~29.

[31] K.Fukai, S.Gotoh, J.Saito, H.Ito, S.Akui, 1993, "Experimental Study
on Correlation between Standard New Effective Temperature(SET*)
and Japanese Thermal Sensation(Part 2-Comparison of Thermal
Sensation in Winter and Summer Seasons)" , The Society of
Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan, No.51,
pp.139~147.

- [32] T.Horikoshi, Y.Kobayashi, T.Tsuchikawa, 1991, "Indicies of Combined and Independent Effect of Thermal Environmental Variables upon the Human Body", ASHRAE Transaction Research, Vol.97, pp.228~238.
- [33] 建設省 建築研究所, 1990, "室内環境の最適化システムの開発", 官民連蒂共同研究報告書
- [34] 손장열, 공성훈, 윤용진, 1985, "불균등 복사 공간의 쾌적온도 범위 설정을 위한 연구", 공기조화냉동공학, 제14권 3호, pp.13~25.
- [35] 배귀남, 이철희, 이춘식, 1995, "여름철 사무실내 한국인의 온열감 평가", 공기조화냉동공학회, 제7권, 제2호, pp.341~352.
- [36] 윤정숙, 최윤정, 이성하, 1992, "여름철 실내 온열환경의 중성온도 설정에 관한 실험 연구", 대한건축학회논문집, 제8권 4호, pp.73~80.
- [37] 금중수, 김경철, 1992, "실내공조에 있어서 온열환경의 쾌적조건에 대한 연구방향 및 방법의 제시에 대한 최종보고서", 부경대학교(구 부산수산대학교) 산업기술연구소
- [38] 금중수, 1993, "한국인에 맞는 쾌적지표의 검증과 기준data의 추출에 대한 최종보고서", 부경대학교(구 부산수산대학교) 산업기술연구소
- [39] 금중수, 1997, "온열쾌적감 측정기술 및 DB개발", 제9회 G7 감성공학 감성요소 기술개발 및 DB 구축 Workshop 자료집, pp.78~94.
- [40] 최진영, 박종한, 금중수, 성시풍, 심민섭, 1993, "동계체감실험에 의한

- 온냉감 평가와 PMV, SET^* 의 적용성 검토”, 공기조화냉동공학회 하계 학술대회 강연 및 논문집, pp.170~174.
- [41] 김동규, 주익성, 금종수, 최광환, 최호선, 이길량, 1997, “한국인의 온열쾌적감 및 생리신호에 관한 연구(Part II. 여름철 체감실험결과)”, 97한국감성과학회 연차학술대회논문집, pp.113~117.
- [42] 강대호 : 건물외피의 열적 성능에 관한 연구, 연세대 대학원 석사논문 (1983)
- [43] 박상동 : 건물외피의 열용량이 에너지 소비에 미치는 영향에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2권 6호, 통권 8호, (1986)
- [44] 이진 : 열손실 방지를 위한 건축물의 구조에 관한 연구, 건설부 (1979)
- [45] 박상동 : 직접일사 취득형 주택의 난방부하에 관한 실험적 연구, 고려대 건축공학과 박사학위 논문(1984)
- [46] ASHRAE, ASHRAE HANDBOOK Heating, ventilating, and Air Conditioning System and Equipment, (1992).
- [47] B. K. HODGE, Analysis and Design of Energy System, Prentice Hall, (1990).

감사의 글

먼저 지극히 작은자 중에서도 더 작은 나에게 감사 할 수 있는 기회를 주신 하나님께 영광을 돌려드립니다

본 논문이 완성되기 까지 부족한 나에게 끝까지 인내 하시며 세밀하게 지도해 주신 금종수 지도 교수님을 존경하며 베풀어 주신 은혜에 무한한 감사를 드립니다.

또한 항상 앞서 가는 연구자료와 지식으로 채워 주시고, 지도해주신 오후규 교수님, 김종수 교수님, 김영수 교수님, 최광한 교수님, 윤정인 교수님, 정석권 교수님, 그리고 김은필 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 항상 선배처럼 친구처럼 친절했던 신병환 형제님, 김형철 형제님과 연구실 모든 분들께 고마운 마음을 전합니다.

지난 2년간 고락을 같이 했던 04학번 동료들과 선,후배 들께도 고마움을 전하며 앞날에 축복을 드립니다.

끝으로 기도와 사랑으로 지켜주신 어머님과 가족들에게 이 기쁨을 같이 하고자 합니다.