베네치안 블라인드의 슬래트 각도변화가 건물의 냉난방 부하에 미치는 영향

The Effect on the Heating and Cooling Load of Building by Slat Angle Variation of Venetian Blind

조 성 환, 신 기 식*
S. H. Cho, K. S. Shin

Key words : Venetian Blind(베네치안 블라인드), Slat Angle(슬래트 각도), Time Dependent Thermal Load(동적 부하), Cooling and Heating Load(냉난방 부하), Shading Device(차양장치)

Abstract

Generally, among many kinds of shading devices such as venetian blind, sunscreen, louver and curtain, venetian blind is using widely because the mechanism is so simple and easy to use solar insolation by controlling the slat angle.

Analysis of time dependent heat transfer through the window with venetian blind is very important in order to use it effectivly.

Therefore, in this study, theoretical thermal analysis method was developed to analyze time dependent heat transfer through a double pane window with and without venetian blind, and was made one module of TRNSYS(A Transient Simulation Program)program.

By this way, it was analyzed that how much the variation of slat angle, slat colour and slat absorptivity of venetian blind would be affected on the heating and cooling load of building, and also which colour and angle of slat was optimal for the heating and cooling load of building.

기호설명

A	: 창면적 (m^2)
A_D	: 베네치안 블라인드의 흡수율
$A_{(1)}$	: 유리창의 흡수율
$A_{t(m)}$	: 시스템 전체의 흡수율
$A_{t(m)n}$	: n층(layer)에서의 흡수율
a	: 슬래트의 흡수율
f_1,f_2,f_3	: 태양광선이 베네치안 블라인드를 통하여 흡수, 투과 및 반사되어 나가는 분율
Gr	: Grashof수
g	: 중력가속도 (m/s^2)
h_{12},h_{23}	: 복사열전달계수($W/m^2℃$)
h_i,h_o	: 창표면열전달계수($W/m^2℃$)
I_t	: 일사량(W/m^2)
ℓ	: 창사이의 간격(m)
m_{12},m_{23}	: 대류열전달계수($W/m^2℃$)
Nu	: Nusselt수
Q_1,Q_2,Q_3	: 창 시스템 각 부위에 흡수된 열량 (W)
Q_i	: 내창을 통한 열손실량, $h_i(T_3-T_i)A$ (W)
Q_o	: 외창을 통한 열손실량, $h_o(T_1-T_o)A$ (W)

* 한국에너지기술연구소 건축설비연구팀

Q_i : 실내로 투과된 일사량, $I_t \tau A$ (W)
R_b : 베네치안 블라인드의 반사율
$R_{(t)}$: 유리창의 반사율
$R_t(m)$: 시스템 전체의 반사율
T_1, T_2, T_3 : 시스템 각 부위의 온도(℃)
T_b : 베네치안 블라인드의 투과율
T_o : 실외 온도(℃)
T_i : 실내 온도(℃)
$T_{(t)}$: 유리창의 투과율
$T_{t(m)}$: 시스템 전체 투과율
T_{2A} : 베네치안 블라인드의 온도(℃)
V : 외기의 풍속(m/s)
W : 슬래트의 폭(m)
S : 슬래트의 간격(m)
Z : 창의 높이(m)
α : 슬래트의 각도
ε : 방사율
ν : 동점성계수 (m^2/s)
τ : 투과율
ϕ : 태양열의 입사각도
$\Delta\theta$: 온도차

하 첨 자

1 : 외창
2 : 블라인드
3 : 내창
i : 실내
o : 실외
t : 전체

1. 서 론

일반적인 건물에서 창문은 열관류율이 2.9~5.0Kcal/m^2h℃로서 벽체나 지붕의 5~8배 정도 많은 열을 손실하는 부위이다. 그렇지만 한편으로는 창으로 입사되는 태양 일사열을 실내로 유입시키는 부분이기도 하다.

따라서 건물의 에너지 절약 관점에서 볼때 창문을 통한 대류 열손실을 최소화 시키면서 창으로 입사되는 태양 입사열을 최대한 이용할 수 있게 하는 것은 대단히 중요한 문제이다.

지금가지 창문을 통한 열손실을 최소화시키기 위하여 창문의 단열성과 기밀성을 향상시킬 수 있는 연구를 수행한 결과, 열관류율이 0.86Kcal/m^2h℃로서 극히 낮으면서도 광선 투과율이 기존 유리에 상당하는 슈퍼윈도우(Super Window), 진공창(Vacumm Window), 에어로젤 창(Aerogel Window)등이 개발되기도 하였지만, 실내로 유입되는 태양일사열을 필요시 유입시키고 불필요시에는 차단시킬 수 있는 차양장치에 관한 연구는 큰 진전이 없었다.

현재 일반적인 건물에서 주로 채택하고 있는 차양 장치로는 베네치안 블라인드, 선스크린, 루바 및 커텐 등이 있지만 이들 중에서 베네치안 블라인드는 구조 자체가 간단하며 슬래트의 각도 조절에 의하여 창으로 입사되는 태양 입사열의 유입을 임의로 조절할 수 있는 장점이 있으므로 일반적으로 많이 사용되고 있다. 그러나 지금까지 베네치안 블라인드의 슬래트 구조, 슬래트 각도 및 열적인 특성에 따라서 이들이 건물의 냉난방 부하에 미치는 영향에 관한 연구는 부족한 편이었다.

현재까지 차양 관련 연구로는 Parmelee등[1]이 슬래트의 구조 및 각도 등에 따른 슬래트 전체의 열특성치를 계산하는 연구를 수행하였지만 이들은 이러한 변수들이 건물의 전체 부하에 미치는 영향을 규명하지는 않았다. Hayashi등[2]은 베네치안 블라인드의 슬래트가 일정한 각도를 유지하면서 이중창내에 설치되어 있을 때 건물의 난방부하에 미치는 영향을 실험 및 이론적으로 연구를 수행하였지만 이들은 주로 이론해석과정의 타당성 여부에 중점을 두고 연구를 수행하였다.

Rheault등[3]은 이중창 내부에 베네치안 블라인드가 설치되어 있을때 카나다 몬트리올 지역의 기상조건에 대하여 어느 정도의 슬래트 각도가 건물의 냉난방 부하에 유리한가에 관한 이론적 연구를 수행하였지만 이들은 슬래트의 색상이나 형상을 일정하게 고정시켜 놓은 한정된 범위에서 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 이중창의 경우와 설치되지 않은 이중창의 경우에 대하여 창을 통한 동적 열전달 현상을 해석할 수 있는 이론적 해석 방법을 개발한 후, 이

를 태양열 획득이 많은 건물의 동적부하해석에 유리하며 새로운 Subroutine의 추가가 쉽도록 구성된 기존의 TRNSYS 프로그램의 한 모듈로 구성하였다. 그리고 베네치안 블라인드 슬래트의 각도, 슬래트의 색상 및 구조 변화가 건물의 냉난방 부하에 미치는 영향을 규명한 후, 우리나라의 기상조건하에서 슬래트 색상과 슬래트 각도를 어떻게 유지시키는 것이 건물의 냉난방 부하에 유리한지를 규명함으로서 향후 개발코자 하는 슬레트 각도의 동적 최적 제어 장치설계에 이용코자 한다.

2. 이론적 해석

베네치안 블라인드가 설치된 이중창을 통한 동적 열전달 현상을 실외 기상조건 및 실내온도 조건에 따라서 해석한 후, 이들의 결과를 TRNSYS[4]의 Main 프로그램과 연계시키기 위해서 아래와 같은 단계를 거친다.

첫번째 단계는 각 슬래트의 재질과 형상 및 열특성치(흡수율)가 주어질 때 베네치안 블라인드 전체의 열 특성치(전체 투과율, 반사율 및 흡수율)를 Parmelee가 제시한 방법에 의하여 구한다.[1]

두번째 단계는 앞에서 구해진 베네치안 블라이드 전체의 열특성치를 이용하여 이중창과 베네치안 블라인드가 동시에 설치되어 있을 때 이중창과 베네치안 블라인드가 포함된 전체시스템의 열특성치(전체투과율, 반사율 및 각층의 흡수율)를 구한다.

세번째 단계는 앞에서 구해진 이중창과 블라인드 전체시스템에서의 열특성치들을 이용하여 창으로 입사되는 태양입사열에 대한 창 전체에 대한 투과율, 반사율 및 각 층에서의 흡수율을 구한다.

네번째 단계는 앞에서 구해진 창의 각 부분에 대한 흡수율, 반사율 및 투과율을 이용하면 일정한 크기의 일사량이 창으로 입사될 경우, 창의 각 부분에 흡수된 열량을 알 수 있으므로 이러한 열량과 실내외 온도조건에 대하여 1차원 열평형 방정식을 수립한다. 그리고 각 부위의 초기온도를 일정한 값으로 가정한 후 이들 값들을 열평형식에 대입함으로서 각 부위의 온도값을 계산하는데 계산된 각 부위의 온도가 전 단계에서 계산된 온도와의 오차가 매우 작을 때까지 반복함으로써 전체 열평형식을 해석하는데 Gauss Siedel방법으로 열평형 방정식을 해석한다.

즉 이와 같은 이론 해석 방법을 TRNSYS 프로그램의 한 모듈로 구성하면 슬래트이 각도 및 형상 등의 변화에 따른 매 시간별 냉난방 부하를 동적으로 해석할 수 있다. 아래에 각 단계별로 이론해석 방법을 나타내면 아래와 같다.

2.1 슬래트 전체의 열 특성치

베네치안 블라인드, 선스크린 등과 같은 슬래트 형태의 태양열 차단재들은 입사광선의 각도 및 입사량, 슬래트 자체의 재질, 기하학적인 구조 및 표면의 열적 특성에 따라서 슬래트 전체의 열적 특성이 다르다.

이들의 변수들에 따른 슬래트 전체의 열 특성치 해석을 위하여 Fig.1은 베네치안 블라인드 슬래트가 수평면을 기준으로 일정한 각도(α)를 유지하고 있을 때 태양광선이 어떤 입사각(ϕ)으로 입사된 후 흡수, 반사 및 투과되는 과정을 나타낸 것이다.

이때 W는 슬래트의 폭, S는 슬래트 사이의 간격을 나타내며 f_1, f_2, f_3은 베네치안 블라인드로 입사된 태양광선이 흡수, 투과 및 반사되어 나가는 분율을 각각 나타낸다.

일반적으로 슬래트를 통하여 광선이 흡수, 투과 및 반사되는 과정은 슬래트 표면의 특성에 따라서 정상반사면(specular reflecting surface)와 확산반사면(diffuse reflecting surface)의 2가지로 구

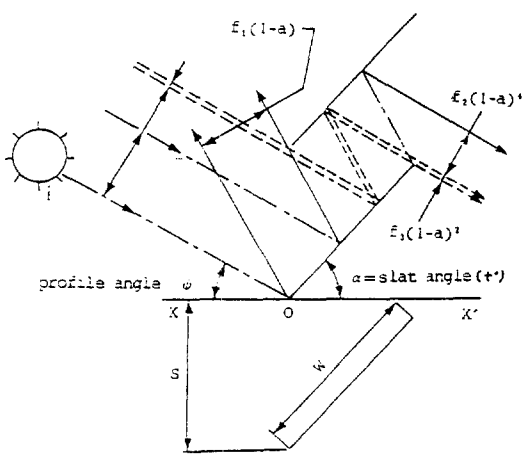

Fig.1 Absorption, reflection and transmission process of sun light

분할 수 있는데 본 연구에서는 슬래트 표면이 정상 반사면을 갖는 경우로 가정하여 이론적인 해석을 수행하였다.

Parmelee등[4]이 제시한 방법에 의하면, 태양광선이 베네치안 블라인드에 어떤 각도를 가지고 입사될 경우 블라인드 슬래트각도와 태양광선의 입사각도에 따라서 세가지 경우로 나누어서 블라인드 전체의 열적인 특성(투과율, 반사율 및 흡수율)을 나타낼 수 있다.

TYPE 1 : $\psi+2\alpha<90^\circ$, $\psi+\alpha<90^\circ$ 인 경우로서 베네치안 블라인드에 입사된 태양광선의 어떤부분도 반사되지 않고 슬래트 면에서 흡수과정을 거친 후 슬래트 사이를 통과하는 경우.

TYPE 2 : $\psi+2\alpha>90^\circ$,$\psi+\alpha<90^\circ$ 인 경우로서 베네치안 블라인드에 입사된 태양광선의 일부분은 반사되고 나머지 부분은 슬래트에서 흡수과정을 거친 후 슬래트 사이를 통과하는 경우.

TYPE 3 : $\psi+\alpha>90^\circ$ 인 경우로서 베네치안 블라인드에 입사된 태양광선의 일부분은 슬래트에 흡수되지만 통과되는 부분은 없는 경우, 즉 대부분의 광선이 반사되는 경우.

이들 세 경우에 대한 베네치안 블라인드 전체의 T_D(투과율), A_D(흡수율) 및 R_D(반사율)을 나타내면 Table 1과 같다.

Table 1에서 N은 (W/S)/B를 나타내며, 이때 $B=\pm\cos\psi/\tan(\psi+\alpha)$, $X=\pm\sin\psi-((W/S-NB))$, $Y=\pm(\sin\psi+((W/S-NB))$, $Z=X-2B$를 나타낸다.

2.2 복층재료에서의 열특성치

이중창 내부에 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 경우에 이들 전체에 대한 열특성치(전체 반사율, 투과율 및 각층의 흡수율)를 구하는 방법은 Ray Tracing Method와 Net Radiation Method가 있는데, 전자의 방법은 단위 복사 광선의 경로를 추적하기 때문에 흡수, 복사 및 반사된 광선의 분율이 복잡한 식으로 나타난다. 반면에 각 면에서의 방출되는 에너지가 그면으로 공급되는 에너지와의 상관관계로 나타낼 수 있기 때문에 여러 층을 갖는 재료에서는 열특성치들의 계산에 간단하게 이용할 수 있는 장점이 있는 후자의 방법을 본 연구에서는 이용하였다. 따라서 Net Radiation Method 방법에 의하여 m층으로 되어있는 다층 창호시스템에 대한 열특성치들을 나타내면 아래와 같다.[5]

$$T_{t(m)}=T_{t(m-1)}\cdot Xr \tag{1}$$

$$R_{t(m)}=R_m+T_m\cdot R_{t(m-1)}\cdot Xr \tag{2}$$

$$A_{t(m)}=A_{t(m-1)n}\cdot Xr\,(n=1,2,\cdots,m-1) \tag{3}$$

$$A_{t(m)n}=A_m+A_m\cdot R_{t(m-1)}\cdot Xr \tag{4}$$

$$Xr=\frac{T_m}{1-R_m\cdot R_{t(m-1)}} \tag{5}$$

여기서 A_m, R_m, T_m은 창의 전체 시스템이 m층으로 되어 있는 경우에 m층의 창에 대한 흡수율, 반사율, 투과율을 나타내며 $T_{t(m)}$, $R_{t(m)}$은 시스템 전체의 투과율 및 반사율을 나타내며 $A_{t(m)n}$은 각층 n에서의 흡수율을 나타낸다.

2.3 열전달 해석

2.3.1 베네치안 블라인드가 설치된 이중창

Table 1. Transmitance(T_D), absorptance(A_D), and reflectance(R_D) for the three different types

	TYPE 1	TYPE 2	TYPE 3
T_D	$\pm(\sin(\psi+\alpha))/\cos(\psi)(X(1-a)^{N-1}+(B-X-Y)\pm\sin(\psi))(1-a)^N+Y(1-a)^{N-1})$	$(\sin(\psi+\alpha))/\cos\psi(X(1-a)^{N-1}-Z(1-a)^{N-1})$	$1-(W/S)(\sin(\psi+\alpha)+\cos\psi)$
A_D	$1-T_D$	$1-T_D-(1-(2\cos\alpha\cos(\psi+\alpha))/\cos\psi)(1-a)$	$(1-T_D)a$
R_D	$1-T_D-A_D$	$1-T_D-A_D$	$1-T_D-A_D$

본 연구에서 베네치안 블라인드가 설치된 이중창 내부의 열전달 현상을 예측하기 위하여 채택한 1차원적인 구조는 Fig.2와 같다.

그림에서 창의 전체 높이는 y=H(m)이며 실외 및 실내온도는 각각 T_o(℃), T_i(℃)로서 일정하게 유지된다.

이때 창으로 태양 일사열이 입사되면 베네치안 블라인드의 구조, 열적 특성 및 유리창의 열적 특성 등에 따라서 일부분은 반사되어 밖으로 나가고, 일부분은 창을 통하여 투과된 후 실내로 유입되며, 일부분은 각 창 및 베네치안 블라인드에 흡수되는데, 각 부위에 흡수된 열량 각각의 Q_1(W), Q_2(W), Q_3(W)는 실내외 온도와의 열교환 작용에 의하여 창 및 베네치안 블라인드 각 부위의 온도는 T_1(℃), T_2(℃), T_3(℃)로 일정하게 유지된다.

그림에서 h_o 및 h_i는 실외 및 실내창에서의 대류열전달계수를 나타내며 m_{12}, m_{23}는 창내에서의 자연대류 열전달계수를 나타내고 h_{12}, h_{23}는 각 부분에 대한 복사 열전달계수를 나타낸다.

위와 같은 조건하에서 Fig.2의 각 부분(내외창 및 베네치안 블라인드)에 대하여 균일한 온도분포를 갖는 평면벽으로 가정하여 이에 대한 1차원 열평형 방정식을 나타내면 아래와 같다.

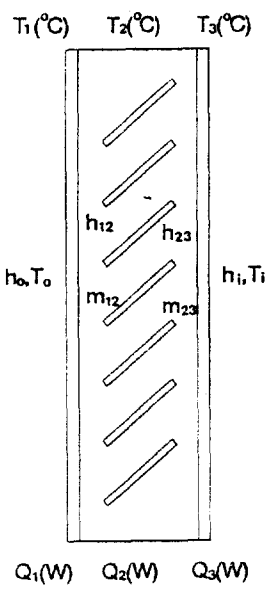

Fig.2 Simplified description of a double pane window with venetian blind

$$h_0(T_1-T_0)y+(h_{12}+m_{12})(T_1-T_2)y=Q_1y \quad (6)$$

$$(h_{12}+m_{12})(T_2-T_1)y+(h_{23}+m_{23})(T_2-T_3)y=Q_2y \quad (7)$$

$$h_i(T_3-T_i)y+(h_{23}+m_{23})(T_3-T_2)y=Q_3y \quad (8)$$

위의 식에서 첨자 1 및 3은 실외 및 실내의 창, 첨자 2는 베네치안 블라인드를 나타낸다. 이때 식에서 사용된 실내 및 실외창 표면에서의 대류열전달계수 h_i, h_o는 Lockmanhekin[6]이 제안한 실험식들을 이용하였다.

$$h_o=8.07V^{0.605}[W/m^2℃];V>2.0m/s$$
$$=12.7[W/m^2℃],\ V<2.0m/s \quad (9)$$

$$h_i=1.42(\Delta\theta/Z)^{1/4}[W/m^2℃] \quad (10)$$

여기서 V는 외기의 풍속(m/s), Z는 창의 높이(m), $\Delta\theta$는 창표면과 실내외의 온도차(℃)를 나타낸다.

또한 복사 열전달계수 h_{ij}는 다음과 같은 식을 이용하였으며,

$$h_{ij}=(5.7\times(T_i^2+T_j^2)(T_i+T_j)\times10^{-8})/$$
$$((1/\varepsilon_i)+(1/\varepsilon_j))[W/m^2℃] \quad (11)$$

창사이 공간에서의 자연대류 열전달 계수 m_{ij}은 아래와 같은 실험실을 이용하였다.

$$m_{ij}=L/Nu\cdot\lambda_i \quad (12)$$

여기서 i, j는 유리창 및 베네치안 블라인드의 각 부위를 나타내며 L는 유리창 사이의 간격 [m]을 나타낸다.

Nu는 Graf & Van der Hold가 제시한 식으로서,

$$Nu=1;Gr<6700$$
$$Nu=0.0384Gr^{0.37};Gr\geq6700 \quad (13)$$

$$\lambda_1 = 0.0243 + 7.9((T_1+T_2)/2)\cdot 10^{-5} \text{ W/m℃} \quad (14)$$

$$Gr = (g(T_1-T_2)\cdot L^3)/(273+((T_1+T_2)/2)\cdot \nu^2) \quad (15)$$

여기서 g는 중력가속도(m/s²), ν는 공기의 동점성계수(m²/s)이다.

2.3.2 베네치안 블라인드가 설치되지 않은 이중창

내외창 사이에 베네치안 블라인드가 설치되어 있지 않는 경우는 설치되어 있는 경우와 거의 같은 방법으로 이중창의 열특성치(전체 투과율, 반사율 및 각 부위 흡수율)를 계산하면 되는데, 베네치안 블라인드를 고려하지 않아도 되므로 훨씬 간단하게 열평형식을 나타낼 수 있다.

Fig.3은 블라인드가 설치되지 않은 이중창을 나타내는데, 태양 일사량이 창문을 통하여 입사되면 대부분의 열은 투과되고 일부분만이 유리창에 흡수될 것이다. 이때 실내의 온도가 T_i(℃) 및 T_0(℃)로 유지되고 내외창에 흡수된 일사량을 Q_1(W), Q_2(W)라고 하면 실내외 온도와의 열교환 작용에 의

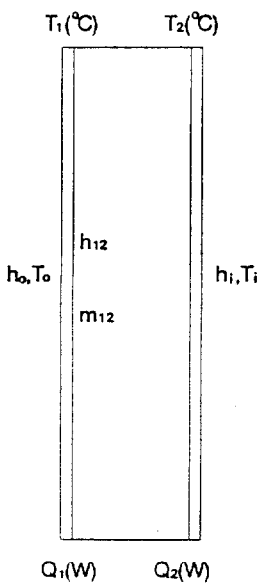

Fig.3 Simplified description of a double pane window without venetian blind

하여 창의 각 부위가 T_1(℃) 및 T_2(℃)로 유지하게 된다.

그림에서 나타낸 열전달계수 h_0, h_i, h_{12}, m_{12}는 앞절에서와 같으며 Fig.3의 각 부위(내창 및 외창)에 대한 열평형 방정식을 나타내면 아래와 같다.

$$h_0(T_1-T_0)y + (h_{12}+m_{12})(T_1-T_2)y = Q_1 y \quad (16)$$

$$h_i(T_2-T_i)y + (h_{12}+m_{12})(T_2-T_1)y = Q_2 y \quad (17)$$

이때 위의 식에서 하첨자1은 외창, 하첨자2는 내창을 나타내며 대류 및 복사 열전달계수들의 정의는 앞절에서와 같은 실험식들을 이용하였다.

2.3.3 수렴조건

본 연구에서 베네치안 블라인드가 설치된 이중창에 대한 열평형식 식(6)-식(8) 및 베네치안 블라인드가 설치되지 않은 이중창에 대한 열평형식 식(16)-식(17)의 해석을 위하여 Gauss Siedel Method를 이용하였다.

이때 각 부위에서 계산된 온도 값의 변화가 10^{-5}이내에 들어오면 수렴된 것으로 간주하였다.

앞의 열평형식으로 부터 창의 각 부위에서의 온도값(T_1, T_2, T_3)이 계산되면 내창을 통한 열손실(Q_i), 외창을 통한 열손실(Q_0) 및 실내로 투과된 일사량(Q_t)를 알 수 있는데 이들을 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$Q_i = h_i(T_3-T_i)A \quad (18)$$

$$Q_0 = h_0(T_1-T_0)A \quad (19)$$

$$Q_t = I_t\cdot\tau\cdot A \quad (20)$$

여기서 A는 창의 면적(m²), I_t는 창으로 입사된 일사량(W/m²), τ는 창의 전체 투과율을 나타낸다.

3. 동적부하 해석방법

기존의 TRNSYS프로그램에 의하여 건물의 동

적부하를 해석하는 방법에는 Energy/(Degree Day)법과 Zone Model법이 있는데, 본 연구에서는 태양열 취득이 상당한 건물의 부하해석에 유리한 후자의 방법을 이용하였다.

Zone Model법으로 단일 Zone의 부하를 해석할 때 Zone의 구성요소로는 벽, 지붕, 문 및 바닥 등이 포함될 수 있는데, Zone의 실내외 조건에 대한 열전달 식들을 매트릭스형식으로 구성한 후 매 시간 간격마다 매트릭스형식으로 조합된 열전달식들을 계산함으로서 Zone에 요구되는 부하를 계산하게 된다.

부하계산시 Zone에 대한 구성요소를 나타내기 위하여 각 부위에 대한 입력변수를 명시하여야 하는데, 천정이나 바닥 및 벽면에 대한 입력변수들을 ASHRAE의 Transfer Function Method를 이용할 수 있다.

그러나 창문의 경우에는 창문을 통한 열손실량을 고려하기 위하여 기존의 열관류율 개념을 사용하고 있기 때문에 베네치안 블라인드가 설치된 이중창 경우와 같이 특이한 형태의 창문은 기존의 TRNSYS에 있는 Mode를 이용할 경우, 슬래트의 열특성치, 각도 및 태양고도등의 변화에 따른 창문을 통한 열손실량, 태양 일사열의 반사 및 투과되는 열량을 정확하게 고려할 수가 없다.

따라서 본 연구에서는 앞에서의 이론해석을 바탕으로 베네치안 블라인드가 설치된 이중창의 경우에 여러가지 외적변화에 대한 동적열전달현상을 고려할 수 있는 새로운 Mode를 개발하여 기존의 TRNSYS와 연계하여 건물의 냉난방부하를 계산할 수 있도록 하였다.

이때 Fig.4는 TRNSYS에서 단일 Zone에 대한 부하해석의 계통도를 나타내며, Fig.5는 TRNSYS와 연계된 베네치안 블라인드가 설치된 창문의 동적 열전달해석에 관한 계통도를 나타낸다.

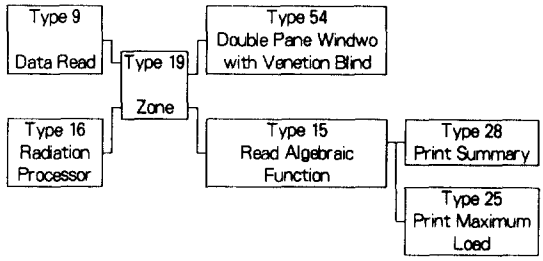

Fig.4 Flow chart of TRNSYS for load calculation of a building

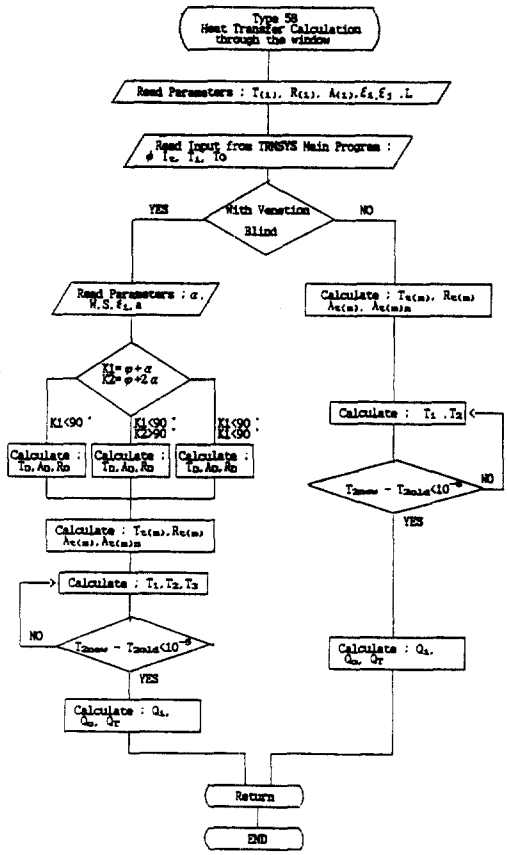

Fig.5 Flow chart of the mode developed for double pane window with venetian blind

Table 2. Thermal characteristics and TFC(Transfer Function Coefficient) of the model building

Part of building	Transmitance	Reflectance	Absorptance	TFC
Wall	–	0.7	0.8	$I_{coef}=2$, $N_{table}=37$
Ceiling	–	0.7	0.8	$I_{coef}=1$, $N_{table}=10$
Floor	–	0.7	0.8	$I_{coef}=2$, $N_{table}=37$

4. 모델 건물의 설정

일반 이중창에서 베네치안 블라인드의 슬래트 각도 및 흡수율 등의 변화가 건물의 냉난방부하에 미치는 영향을 비교 검토하기 위하여 채택한 건물은 아래와 같다.

모델 건물은 천정 및 바닥이 30m²이며 높이가 3m인 장방형 단층 건물로서 창은 남향면에 설치되어 있다. 이때 창의 크기는 3m²로서 높이가 1m이고 높이 3m이며 내외 창사이의 폭은 10cm인 경우이다.

이때 실내의 온도 및 습도조건은 초기에는 21℃, 50%로 하였고 난방을 위한 온도 및 습도는 21℃, 50%로 하였으며 냉방을 위한 온도 및 습도는 26℃, 50%로 하였다. 그리고 기상 자료는 서울의 것을 사용하였다. 그리고 본 연구에서 사용된 모델건물 각 부위에서의 열 특성치 및 TFC (Transfer Function Coefficient)를 나타내면 Table 2와 같다.

5. 결과 및 고찰

5.1 이론 해석 방법의 타당성 검토

본 연구에서 채택된 알고리즘의 타당성 검토를 위하여 이중창 내부에 베네치안 블라인드가 설치된 경우에 대한 기존의 실험 결과[2]와 본 연구에서 해석된 결과를 비교 검토하였다.

기존의 실험 연구에서 채택한 블라인드의 색상은

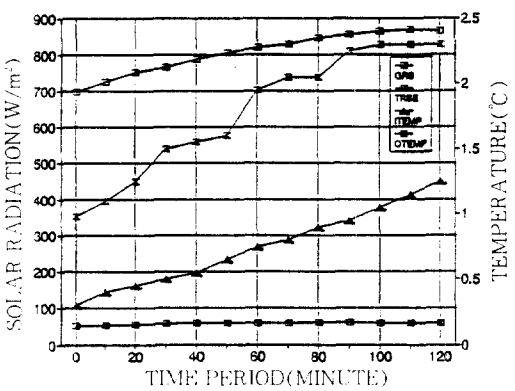

Fig.6 Measured experimental data for 2 days

중간색(흡수율 0.48)이었으며 슬래트 각도는 60°로 일정하게 유지하고서 창으로 입사되는 일사량(W/m²), 실내의 온도(℃) 및 블라인드의 표면온도(℃)를 1988년 12월 13일의 10시부터 16시까지 10분 간격으로 측정하였다. 실험을 수행한 지역은 일본의 Hukuoka였으며 창은 남향면이었고 채택된 내외 창의 두께는 3mm인 경우였다.

본 연구에서는 기존의 실험 결과와 이론 해석 결과의 비교시 전체 실험기간에 대하여 비교 검토하여도 같은 경향을 나타낼 것이기 때문에 10시부터 12시까지 2시간만의 측정 결과와 비교 검토하였다.

Fig.6은 실험시 10분 간격으로 측정된 2시간 동안의 기상 데이타를 나타낸 것으로서 GRS는 창문으로 입사되는 전체 일사량(W/m²), TRSE는 창문을 통하여 투과된 일사량(W/m²)을 나타내며, OTEMP는 외기온(℃), ITEMP는 실내온(℃)을 나타낸다. 실험결과를 보면 측정시 일사량이 700W/m²로서 상당히 맑은 날씨를 나타내었다. 그러나 실험전날의 영향으로 실외온이 실내온 보다 1℃ 정도 높은 온도를 나타내고 있는데 이는 실험공간에 공조를 하지 않고 외기온이나 일사량이 실내에 미치는 영향만을 가지고 측정을 하였기 때문이다.

Fig.7 및 Fig.8은 이론해석의 타당성을 검토하기 위하여 Fig.6에서의 기상 조건하에서 측정된 이중창 각 부분의 표면 온도(℃), 창을 투과한 일사량과 이론 해석에 의하여 계산된 표면 온도(℃) 및 창을 투과한 일사량(W/m²)을 비교한 것이다.

그림에서 RTRSE 및 RTRST는 창으로 입사되는 전체일사량(GRS)에 대한 실험 및 이론에 의한 창을 투과한 일사량의 비, OPE 및 OPT는 실험 및 이론에 의한 외창 표면 온도(℃), IPE 및 IPT는 실험 및 이론에 의한 내창 표면 온도(℃), STE 및 STT는 실험 및 이론에 의한 슬래트 표면 온도(℃)를 나타낸다.

이때 실험과 이론에 의한 창을 통하여 투과된 일사량의 비(RTRSE, RTRST)는 2%이내에서 잘 일치하고 있으며 각 표면 온도도 전체적으로 1-2℃이내에서 잘 일치하고 있다. 그러나 실험후 1시간이 지난 이후 부터는 다른 표면 온도보다도 외창 표면 온도가 2-3℃ 정도의 약간 더 큰 차이를 나

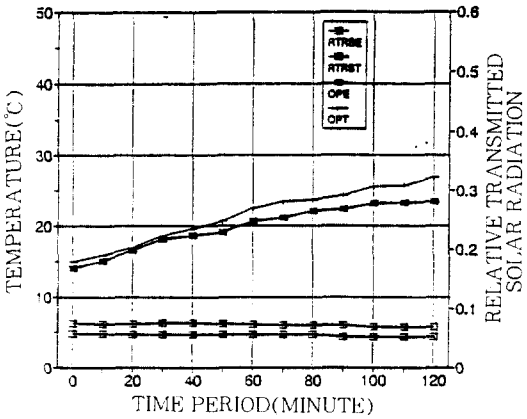

Fig.7 Measured values of surface temperature and trasmitted solar radiation

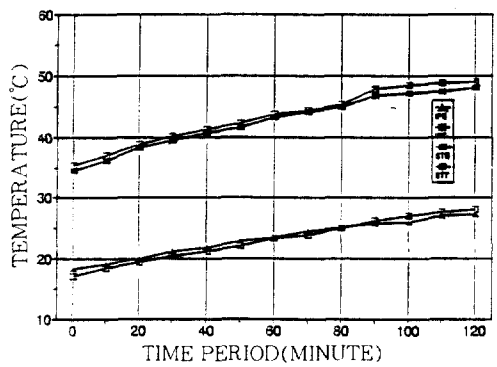

Fig.8 Measured values of surface temperature

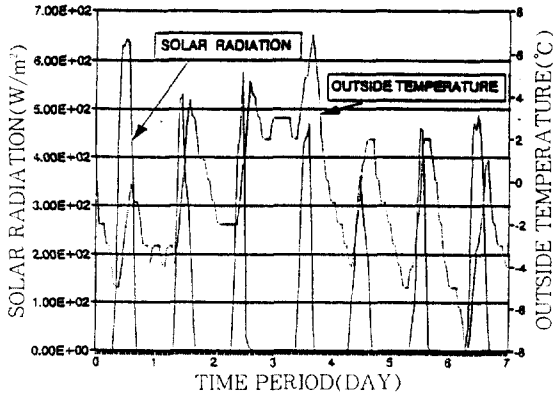

Fig.9 Weather data for 7days on the wintertime

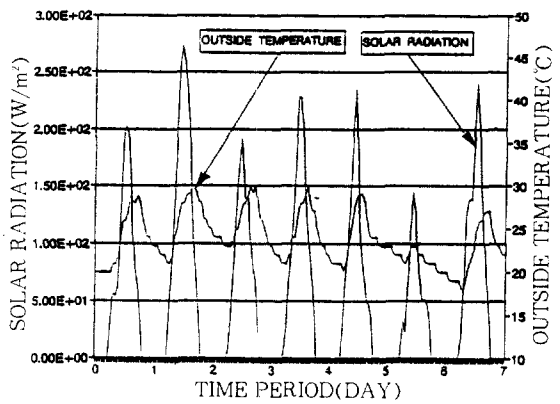

Fig.10 Weather data for 7days on the summertime

타내고 있는데 이는 이론 해석시 외창 표면온도에 많은 영향을 미치는 실외의 풍속을 일정하게 유지하여 놓고 해석을 하였는데 실제 실험시에는 풍속 등이 변화되는 등 다른 외적인 영향이 크게 작용하였기 때문이 아닌가 사료된다.

앞의 결과로 부터 볼때 본 연구에서의 이론 해석 결과는 전반적으로 실험 결과와 잘 일치되고 있으므로 베네치안 블라인드가 설치된 이중창을 가진 건물의 동적 부하해석에 큰 무리없이 이용할 수 있으리라 사료된다.

5.2 슬래트 각도 및 흡수율에 따른 건물의 냉난방 부하

슬래트 각도 및 흡수율이 건물의 냉난방 부하에 미치는 영향을 검토하기 위하여 본 연구에서는 하절기와 동절기의 전형적인 1주일 동안의 기후에 대하여 슬래트 각도가 −80° 에서부터 80° 까지 20° 간격으로 변화되고, 슬래트 흡수율이 0.1에서부터 0.9까지 0.2간격으로 변화되는 각 경우에 대하여 시간별 및 전체 냉난방 부하를 비교 검토하였다.

여기서 슬래트 각도가 0° 라는 것은 지상면에 대하여 수평을 이루는 각도를 의미하고, Fig.1에서와 같이 슬래트의 좌측점을 기준으로 하여 수평면에 대하여 위로 기울어져 있는 경우를 +각도라고 정의하였으며, 슬래트가 좌측점을 기준으로 하여 수평면에 대하여 아래로 기울어져 있는 경우를 −각도라고 정의 하였다(Fig.1 참조).

본 연구의 내용에서 슬래트 흡수율이 크다는 것은 검정색에 가깝다는 것을 의미하고 작다는 것은 흰색에 가깝다는 것을 의미한다.

Fig.9는 본 연구에서 채택된 서울의 기상 데이타에서 1월 1일~1월 7일까지의 동절기 일주일 동안의 외기온과 남향면 창문으로 입사되는 일사량을 나타낸 것이다.

전체적으로 외기온은 −4℃~4℃ 사이에서 규칙적인 변화를 나타내고 일사량은 0~600W/m² 사이에 존재하고 있다. 그러나 3일~4일째의 외기온은 상당히 상승되어 야간에도 2℃정도의 따뜻한 날씨이며 낮에는 최고 7℃정도 까지 크게 상승되어 나타나고 있다.

Fig.10은 본 연구에서 채택된 하절기의 대표적인 기후로서 8월 1일에서 8월 7일까지 일주일 동안의 외기온과 남향면 창문으로 입사되는 일사량을 나타낸 것이다.

전체적으로 외기온은 18℃~30℃ 사이에서 주기적으로 변화가 있고 일사량 또한 0~250W/m² 사이에서 규칙적인 변화를 나타내고 있다.

그러나 6일째는 외기온이 주간에도 25℃ 이하로서 낮고 일사량 또한 150W/m² 이하인 이상 기온이 존재하고 있다.

Fig.11과 Fig.12는 베네치안 블라인드 슬래트 각도가 60°로 일정하게 유지되고 있고 슬래트흡수율이 0.9인 경우에 이중창내에 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 경우와 설치되어 있지 않는 경우에 대하여 일주일 간의 시간별 난방 및 냉방 부하를 나타낸 것이다.

그림에서 편의상 난방부하를 −로 나타내었고 냉방부하를 +로 나타내었는데, 즉 절대값이 큰 경우가 부하가 많이 소요된다는 것을 의미한다.

이때 난방 부하를 나타내는 Fig.11에서 보면 전체적으로 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 이중창의 경우나 설치되어 있지 않는 이중창의 경우에 하루를 주기로 주간에는 일사량 영향으로 난방부하가 적고 야간에는 난방부하가 증가되는 규칙적인 포물선형태의 부하형태를 나타내지만 3일째 되는 날에는 부하의 형태가 거의 완만한 형태를 나타내고 있는데 이는 야간에도 2℃이상의 상승된 외기온 때문이라 사료된다.

그림에서 보면 전반적으로 일사량이 존재하는 주간의 경우에도 베네치안 블라인드가 설치된 경우보다 설치되지 않는 경우에 난방부하가 적고 일사량이 존재하지 않는 야간의 경우에는 베네치안 블라인드가 설치된 경우에 난방부하가 적게 요구되는 것을 알 수 있다. 이것으로 볼 때 베네치안 블라인드가 설치될 경우 주간에는 일사량을 차단하는 효과가 있지만 야간에는 창문을 통한 대류 열손실을 감소시킬 수 있는 역할을 한다는 것을 의미한다.

일주일 동안의 시간별 냉방부하를 나타내는 Fig. 12에서 보면 전체적으로 주간에는 일사량 영향으로 냉방부하가 크게 요구되고 야간에는 냉방부하가 감소되는 주기적인 포물선형태를 나타내고 있다.

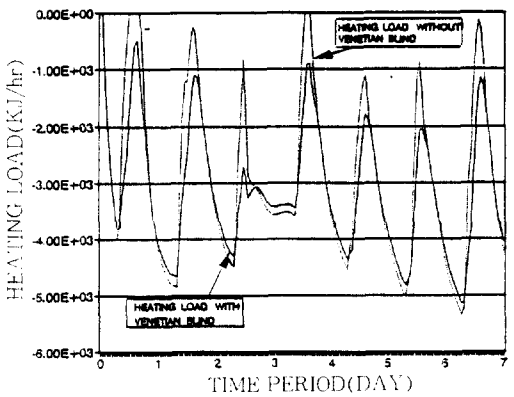

Fig.11 Hourly heating load for 7days on the wintertime in the case of $\alpha=60^{\circ}$ and absorption rate=0.9

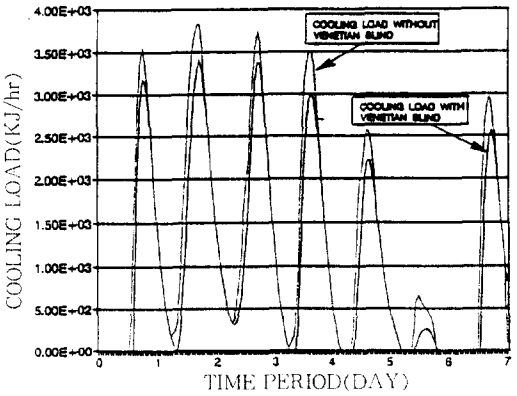

Fig.12 Hourly Cooling load for 7days on the summertime in the case of $\alpha=60^{\circ}$ and absorption rate=0.9

그러나 6일째 주위에서는 외기온이 20℃ 근방으로 낮으며 일사량 또한 작기 때문에 냉방부하가 거의 요구되지 않는다는 것을 알 수 있다.

그림에서 보면 하절기에는 전반적으로 주간이든 야간이든 베네치안 블라인드가 존재하는 경우가 존재하지 않는 경우보다 냉방부하가 적게 요구되고 있는데 일사량이 존재하는 주간에는 냉방부하의 차이가 더 크게 나타나고 있다. 이것으로 볼 때 하절기에는 베네치안 블라인드의 설치가 건물의 냉방부하에 항상 유리하게 작용한다는 것을 알 수 있따.

Fig.13과 Fig.14는 슬래트 각도 변화가 건물의 주, 야간 냉난방부하에 미치는 영향을 검토하기 위하여 슬래트 흡수율이 0.5이고 슬래트 각도가 −80° ~ +80° 인 경우와 베네치안 블라인드가 없는 이중창인 경우에 대하여 주간(9시~18시), 야간 및 이들 전체(주간+야간)에 대하여 1주일 동안의 난방 및 냉방부하를 나타낸 것이다.

Fig.13에서 보면 베네치안 블라인드가 존재하지 않는 이중창의 경우가 존재하는 경우보다 슬래트 각도에 따라서 전체 난방 부하는 6% 정도 큰 경우에서 부터 8% 정도 적은 경우에 까지 나타나고 있다. 그러나 야간의 난방부하는 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 경우보다 설치되어 있지 않는 경우에 1~2% 정도 크지만 주간에는 7~8%까지 크게 나타나고 있다. 즉 슬래트 각도를 어떻게 유지시키느냐 하는것은 야간보다 주간에 건물의 난방부하에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Fig.14는 Fig.13에서와 같은 베네치안 블라인드

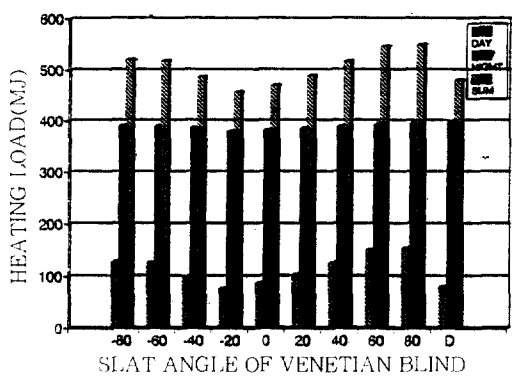

Fig.13 Nighttime and daytime heating load during 7days.

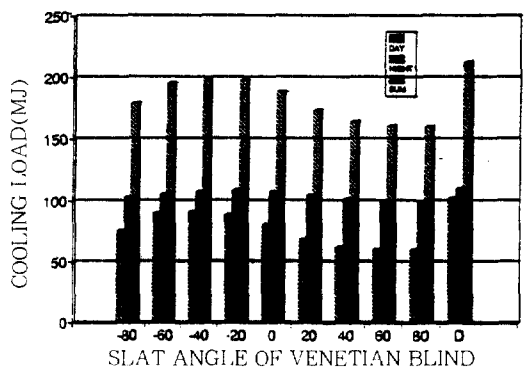

Fig.14 Nighttime and daytime cooling load during 7days.

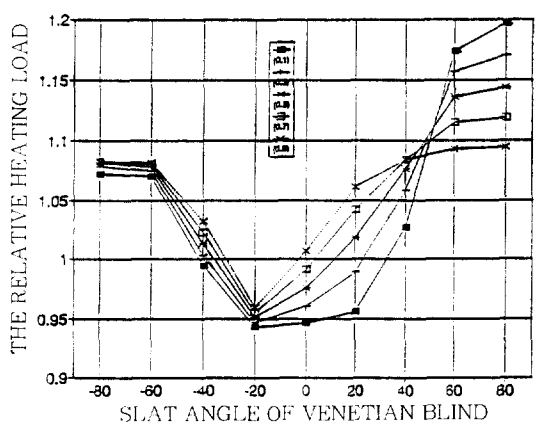

Fig.15 The relative total heating load during 7days on the variation of angle and absorption rate of slat

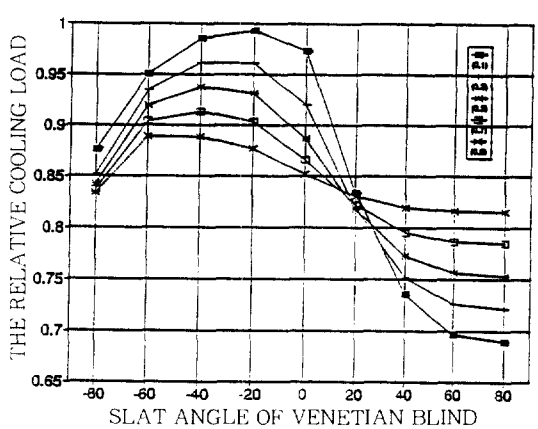

Fig.16 The relative total cooloing load during 7days on the variation of angle and absortion rate of slat

조건에 대하여 냉방부하를 주간과 야간 및 전체로 나누어서 나타낸 것이다. 그림에서 보면 전체 냉방부하는 슬래트 각도에 따라서 5%에서 24%까지 베네치안 블라인드가 존재하지 않는 이중창의 경우가 존재하는 경우보다 크게 나타나고 있다.

이때 일사량이 존재하지 않는 야간에는 베네치안 블라인드가 설치되어 있지 않는 이중창의 경우가 설치된 경우보다 9% 정도 크게 나타나지만 일사량이 존재하는 주간에는 10%~40% 정도 까지 크게 나타나고 있다.

즉 슬래트 각도의 영향은 야간보다는 주간에 냉방 및 난방 부하에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

Fig.15와 Fig.16은 각각의 슬래트 흡수율에 대하여 어느 정도의 슬래트 각도가 건물의 냉난방부하에 유리한지를 검토하기 위하여 슬래트 흡수율이 0.1~0.9, 슬래트 각도가 −80° ~80° 까지 변화되는데 대한 일주일간의 전체 냉난방 부하를 나타낸 것이다.

이때 각각의 경우에 대한 부하를 베네치안 블라인드가 설치되지 않는 이중창인 경우에 대한 부하와 상대적인 차이 QR로 나타내었는데 이의 정의는 아래와 같다.

$$QR=\frac{QLV}{QLD} \tag{21}$$

위의 식에서 QLV는 베네치안 블라인드가 설치된 이중창인 경우의 냉방 및 난방부하를 의미하고 QLD는 베네치안 블라인드가 설치되지 않은 이중창인 경우의 냉방 및 난방부하를 의미한다.

즉 여기서 QR이 1보다 크다는 것을 베네치안 블라인드가 설치된 이중창의 경우가 설치되지 않는 이중창인 경우의 부하보다 크다는 것을 의미하며 QR이 1보다 적다는 것은 베네치안 블라인드가 설치된 경우가 베네치안 블라인드가 설치되지 않는 이중창인 경우보다 부하가 적다는 것을 의미한다.

이때 Fig.15는 베네치안 블라인드가 설치되지 않은 이중창에 대한 상대적인 난방부하 QR을 나타낸 것으로서 슬래트 각도가 −20° 부근에서는 모든 슬래트 흡수율의 경우에 대하여 QR이 0.95로서 전체 난방부하가 이중창인 경우보다 5% 정도 적게 소요된다는 것을 알 수 있다.

즉 이것은 Fig.13에서 볼때 일사량이 존재하지 않는 야간의 경우에는 베네치안 블라인드가 설치되어 있는 경우가 설치되어 있지 않는 경우보다 약 5% 정도 유리하다는 것을 고려하면 일사량이 존재하는 주간에 창문으로 입사되는 대부분의 일사량이 창문으로 거의 유입된다는 것을 알 수 있다. 즉 이는 동절기에 창문으로 입사되는 태양 일사량의 입사각도와 거의 일치한다는 것을 의미한다.

그러나 슬래트 각도가 −40° 이하로 되거나 20° 이상으로 되는 경우에는 QR이 1보다 커져서 베네치안 블라인드가 설치된 경우가 설치되지 않는 경우보다 열적인 면에서 불리하다는 것을 의미한다. 전체적으로 보면 슬래트 각도가 +각도 보다는 −각도를 유지하는 경우에 QR이 적게 나타나 건물의 난방부하 측면에서는 유리함을 나타내었다.

그리고 슬래트 각도가 60° 이상인 경우에는 슬래트 흡수율이 큰 경우에 QR이 적게 나타나 난방부하 측면에서 유리하게 나타났지만 60° 미만인 경우에는 슬래트 흡수율이 적은 경우가 더 유리하게 나타났다.

이는 우리나라의 동절기 경우, 창으로 입사되는 태양 일사열의 입사각이 30° 이내에 존재한다는 것을 고려하면 슬래트 각도가 60° 미만에서는 일사량이 존재할 경우 창으로 입사되는 일사열을 베네치안 블라인드에 흡수되게 하는 것 보다는 블라인드 사이에서 반사되어 실내로 투과시키는 것이 난방부하에 유리하다는 것을 의미한다. 즉, 이와 같은 이론에 의하여, 슬래트 각도를 60° 이하로 유지할 경우에는 동절기에도 슬래트 흡수율이 적은 경우, 즉 흰색의 베네치안 블라인드가 난방부하에 유리함을 나타낸다.

Fig.16은 Fig.15에서와 같은 조건에 대하여 상대적인 냉방부하를 나타낸 것이다.

그림에서 보면 베네치안 블라인드가 설치된 모든 경우에 QR이 1이하로서 베네치안 블라인드가 설치되지 않는 경우보다 모든 경우에 냉방부하 측면에서 유리함을 나타내고 있다.

이때 최소 냉방부하는 슬래트 각도가 60° 이상으로 되고 슬래트 흡수율이 0.1인 경우로서 QR이 0.7정도를 나타내어 냉방부하를 이중창인 경우보다 30% 이상 감소시킬 수 있음을 나타내었다.

그리고 슬래트 각도가 20° 인 경우를 기점으로 하여 20° 이상인 경우에는 슬래트 흡수율이 적을수록 냉방부하에 유리하고 슬래트 각도가 20° 미만에서는 슬래트 흡수율이 클수록 냉방부하에 유리함을 나타내었다.

이것은 하절기에 남향면으로 입사되는 태양 일사열의 입사각이 0~70° 가 된다는 것을 고려하면 슬래트 각도가 20° 미만에서는 슬래트 흡수율이 낮아서 실내로 투과되는 열이 많은 경우가 냉방부하에는 불리함을 의미한다.

그리고 전체적으로 냉방기에는 슬래트 각도를 +각도로 유지시키는 것이 −각도로 유지시키는 것보다 최저 5%정도에서 최고 30%까지 냉방부하를 감소시킬 수 있다는 것을 나타내었다.

또한 일반적인 건물에서 베네치안 블라인드를 설치할 경우 슬래트의 색상을 한가지로 선택하는데, 슬래트 각도를 동절기에는 −각도로 유지시키고 하절기에는 +각도로 유지시킨다는 것을 고려하면 슬래트의 흡수율이 적은 경우 즉, 흰색인 경우가 건물의 냉난방 부하에 유리함을 나타내었다.

6. 결 론

베네치안 블라인드가 설치된 이중창의 경우와 설치되지 않은 이중창의 경우에 대하여 창을 통한 동적 열전달 현상을 해석할 수 있는 이론적 해석방법을 개발하여 이를 기존의 TRNSYS프로그램의 한 모듈로 구성한 후, 베네치안 블라인드 슬래트의 각도 및 슬래트의 흡수율이 건물의 냉난방에 미치는 영향을 검토하였다. 그리고 우리나라의 기상조건하에서 슬래트의 흡수율 및 각도를 어떻게 유지시키는 것이 건물의 냉난방에 유리한지를 규명한 바, 결과를 요약하면 아래와 같다.

1) 건물의 냉난방 부하 측면에서 슬래트의 최적 각도는 하절기에는 60° 이상으로, 동절기에는 −20° 부근으로 유지시키는 것이 열적으로 유리하다.

2) 일반적으로 슬래트 각도를 동절기에는 −각도로 유지시키고 하절기에는 +각도로 유지시킨다는 것을 고려하면 슬래트 흡수율이 적은 경우 즉, 흰색인 경우의 베네치안 블라인드를 설치하는것이 건물의 냉난방 부하에 유리하다.

3) 흡수율이 낮은 슬래트 재료를 사용하고 슬래트 각도를 최적으로 선택하여 사용할 경우 난방 및 냉방 부하를 5% 및 30%까지 감소시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. Paremelee, G. V., Aubele, W. W., 1952, "The Shading of Sunlit Glass-An Analysis of the Effect of Uniformly Spaced Flat Opaque Slats", ASHRAE Transactions, Vol. 58, pp 377-388.
2. Hayashi, T., Watanabe, T., Katayama, T., 1989, "Time-Variable Numerical Model of Heat Transfer around Solar Shading Devices in Windows", Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Building Ⅳ, pp 405-413.
3. Rheault, S., Bilgen, E., 1989, "Heat Transfer Analysis in an Automated Venetian Blind Window System", Journal of Solar Energy Engineering, Vol.Ⅲ, pp 89-95.
4. TRNSYS, 1983. "A Transient System Simulation Program", Solar Energy Lab. Rep., No.38, University of Wisconsin-Madison.
5. 宇田川 光弘, 1986, "空氣調和計算法", オ-ム 社
6. Lockmanhekin, M., 1975, "Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculation, Algorithm for Building Heat Transfer Subroutines", ASHRAE Transactions, Vol.81, part 1.