저방사 코팅이 진공창의 열성능에 미치는 영향

Study on thermal performance of vacuum window with various low-ε coating glasses

조 성 환*, 태 춘 섭*
S. H. Cho, C. S. Tae

Key words : Vacuum window glazing(진공창), Double pane glazing(이중창)

Abstract

A theoretical method was developed to analyze the effect of low-ε coatings which have influence on thermal performance of vacuum windwo glazing and double pane glazing.

The overall heat transfer coefficient(U) value and thermal performance were analyzed by theroretical method on various kins of windows. TRNSYS program was used to analyze total heating and cooling energy consumption on the model building which has various windows. As the result, better thermal insulation can be achieved on the vacuum window glazing than double pane glazing when low-ε coating was done on the surface of glass. Total heating and cooling energy consumption was almost same on the double pane window glazing but was lessened on the vacuum window glazing when the window size of south direction increased. Therefore, low-ε coating was very necessary for vacuum windwo glazing in order to improve thermal insulation performance and efficient energy conservation can be achieved by vacuum window glazing at the real building which has large window.

기 호 설 명

A	: 창의 전체면적(m²)
d	: 지지대의 직경(m)
E	: 유리창의 Young's module (6.37×10^{10} N/m²)
k	: 지지대의 열전도율(W/m℃)
K	: 유리창의 열전도율(W/m℃)
L	: 모서리부분의 주변길이(m)
N	: 지지대의 숫자
P	: 대기압(Pa)
R	: 열저항(℃/W)
r	: 지지대의 반경(m)
S	: 지지대의 간격(m)
t	: 유리창의 두께(m)
T	: 온도(℃)
U	: 창의 총합열전달계수(W/m²K)
V	: 풍속(m/s)
$\triangle X$	: node의 간격(m)
δ_c	: 모서리 접합부분의 폭(m)

* 정회원, 한국에너지기술연구소 건물에너지연구부

하첨자

a : 외부
c : 대류열전달
contact : 접촉부위
e : 모서리부분
glaze : 유리창
i : 실내공기
m : 시스템의 각 층(layer)
r : 복사열전달
t : 전체
spine : 구(bead)
1~4 : 각 부위
μ : 유리창의 Poisson's ratio(0.21)
ε : 방사율
σ : Stefan-Boltzmann 상수 ($5.67\times10^{-8}W/m^2K^4$)

1. 서 론

일반적으로 건물에서 발생되는 에너지 손실은 건물의 벽체나 지붕, 그리고 창 등을 통하여 이루어진다. 이 중에서 창을 통한 열손실량은 주택의 경우에는 전체 열손실량의 20~40% 정도를 차지하고 일반 사무소건물인 경우에는 15~35% 정도를 차지할 정도로 큰 비율이다. 이는 창의 총합열전달계수가 벽체나 지붕의 6~7배 정도로 커서 건물외피중 열적으로 가장 취약한 부위이기 때문이다.

따라서 최근 미국, 독일, 캐나다, 핀란드 등 추운 기후지역의 선진국들을 중심으로 단열성능이 높은 유리창을 개발하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 그 결과 실리카 에어로젤을 내장한 투명 단열유리창(aerogel glazing), 진공유리창(vacuum glazing), 저방사 유리창(low-ε glazing), 전기유리창(electric glazing), 투광조절 유리창(electrochromic glazing)등의 고단열 첨단 유리창이 개발되었거나 실용화 연구중에 있기도 하다.[1~4]

진공창은 1893년에 최초로 Dewar Flask로부터 기본적인 개념이 시작되었다. Dewar Flask는 복사손실을 효과적으로 차단시키기 위하여 표면에 저방사코팅을 하고 개스에 의한 전도열손실과 대류열손실을 방지하기 위하여 내부의 공간을 진공상태로 유지하였으며 외부 대기압과 내부진공과의 큰 압력차를 극복하기 위하여 동심원 형상의 구조를 이용함으로써 내외부간의 열차단효과를 극대화하였다.[2]

그러나 이러한 아이디어는 평판형 진공창으로 연결되지 못하였기 때문에 이후 약 20년간 새로운 진공창 제작에 관한 진전이 없었다. 1913년에 Zoller가 평판형 진공창에 대한 새로운 제조방법을 제시한 이후 1921년에 Kirlin, 1947년에 Whattan and Myers, 1976년에 Chalons와 Fablel, 1977년에 Hermann과 Horster, 1981년에 Assarsson, 1987년에 Bachli, 1988년에 Bewther 등에 의하여 진공창의 제작방법과 구조에 관한 많은 아이디어들이 제시되었지만 이들은 모두 특허출원 정도에 머물렀을 뿐 실제적인 개발연구로서 진행되지는 않았다.[2]

열적으로는 우수한 성능을 가질 수 있지만 실용화 연구로 진행되지 못한 이유는 당시의 기술로서는 진공창의 실제제작이 상당히 어렵기 때문이었다. 이와 같은 주된 이유는 첫째, 진공창의 주재료가 유리이기 때문에 힘에 지극히 취약할 수 있고 둘째, 유리창 주위의 모서리 부분을 완벽하게 접합(sealing)해야 하는 문제가 있으며 셋째, 창의 내부가 고진공상태로서 장기간 안정하게 유지되어야 하는 문제가 있으며 넷째, 유리창 내부표면에 저방사코팅을 해야하는 어려운 점들이 있었기 때문이었다.

그러나, 이러한 어려운 기술들은 1990년대에 유리창 접합기술, 코팅기술, 진공기술, 설계기술 등의 발전에 따라서 현재 호주의 University of Sydeney, 미국의 NREL 등을 중심으로 연구개발이 진행되고 있으며 진공창 내부의 압력이 10^{-4}torr 정도의 고진공상태를 유지할 수 있는 시제품 제작에 성공하여 최근에는 대량생산공정 연구에 많은 관심을 가지고 있다.

최근 국내에서도 한국에너지기술연구소에서 10^{-4} torr의 고진공상태를 유지할 수 있는 진공창의 시제품개발에 성공하여 향후 실용화 가능성을 한층 높여주고 있다.

따라서 본 연구에서는 진공창의 단열성능 향상에 필수적인 다양한 저방사코팅을 일반 이중창과 진공창에 적용한 후 이론적으로 열적 성능변화를 검토함으로써 향후 진공창의 단열성능 개선에 이용코자

한다.

이를 위하여 본 연구에서는 두가지 종류의 저방사코팅이 일반창 및 진공창에 적용되었을 때에 창 내부의 지지대와 프레임의 영향을 고려한 후 창 전체의 총합열전달계수와 태양열의 전체 투과율, 반사율 등을 해석할 수 있는 이론적 방법을 개발하였다. 그리고 이를 이용하여 해석한 열적 특성치를 TRNSYS프로그램에 입력하여 동일건물에 이중창과 진공창이 설치되었을 경우에 냉난방에너지 소모량을 비교분석함으로써 향후 진공창의 열성능개선에 이용코자 하였다.

2. 진공창의 개요

Fig.1은 진공창의 개요도를 나타내고 있다. 그림에서 보면 이중창 내부를 진공상태로 유지할 경우 이중창 내부의 진공상태(10^{-5} torr)와 외부의 대기압 사이에 큰 압력차가 존재하게 되므로 이를 상쇄시키기 위하여 창 내부에 미세한 지지대가 여러개 설치되어 있다. 그리고 모서리 부분의 밀봉상태를 완벽하게 유지시키기 위하여 유리계통의 재질로서 용접되어 있으며 창 내부의 공기를 뽑아내기 위한 관이 유리창의 한면에 설치되어 있다.

이러한 구조하에서 유리창 사이의 복사열전달, 지지대나 유리창 모서리 부분을 통한 열전도, 낮은 압력하에서 개스를 통한 열전도 등을 최소화시키면서도 대기압과 내부진공상태에 따른 큰 압력차에 따른 계속적인 응력, 풍압 등에 따른 간헐적인 응력 등에 장기간 동안 안정성 있게 유지될 수 있도록 설계, 제작될 것이 요구된다.

3. 창의 총합열전달계수 및 투과율 해석

3.1 총합열전달계수

Fig.2는 진공창의 총합열전달계수 해석을 위한 개요도를 나타낸다. 본 연구에서 진공창의 총합열전달계수 해석은 열저항 개념을 이용하였는데 창 전체의 열저항(R_t)은 내부의 지지대를 통한 열저항(R_s), 창사이의 복사열저항(R_{rs}), 유리창 자체의 열저항(R_{glass})과 모서리부분의 열저항(R_e)이 병렬회로를 구성하고 있다고 가정하였다.[4]

창 전체의 열저항 R_t는 R_c과 R_e로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_t = A\left(\frac{R_c \cdot R_e}{R_c + R_e}\right) \tag{1}$$

여기서,

$$R_c = R_a + R_{glass1} + R_{rs} + R_{glass2} + R_t \tag{2}$$

$$R_a = \frac{R_{r,4-a} \cdot R_{c,4-a}}{R_{r,4-a} + R_{c,4-a}} \tag{3}$$

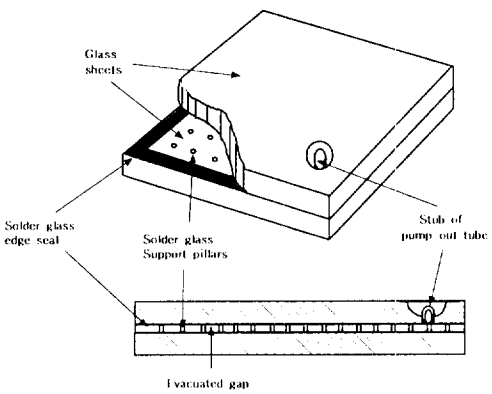

Fig.1 Schematic diagram of vacuum window glazing

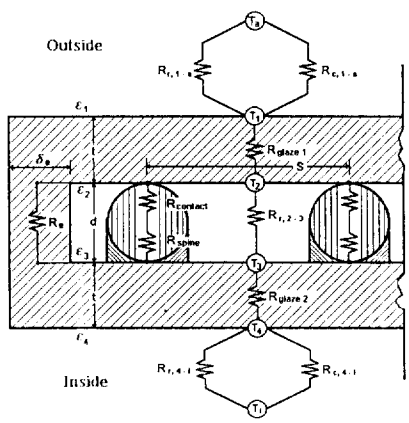

Fig.2 Thermal resistance model for vacuum window thermal performance

$$R_{rs}=\frac{R_{r,\ 2-3}\cdot R_s}{R_{r,\ 2-3}+R_s} \tag{4}$$

$$R_{glass}=\frac{t}{Ak} \tag{5}$$

$$R_t=\frac{R_{r,\ 1-t}\cdot R_{c,\ 1-t}}{R_{r,\ 1-t}+R_{c,\ 1-t}} \tag{6}$$

여기서 A는 창의 면적(m^2), k는 열전도율(W/m^2℃), t는 창의 두께(m)를 나타낸다.

이 때 복사열저항 $R_{r,\ 4-t}$, $R_{r,\ 4-a}$, $R_{r,\ 1-a}$, $R_{r,\ 1-a}$ 및 $R_{r,\ 2-3}$와 대류열저항 $R_{c,\ 4-a}$, $R_{c,\ 1-a}$, $R_{c,\ 1-a}$, $R_{c,\ 1-a}$는 Duffie와 Beckman(1980)과 Lauer(1983)에 의하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{r,\ 4-t}=\frac{1}{A\varepsilon\sigma(T_t+T_4)(T_t^2+T_4^2)} \tag{7}$$

$$R_{r,\ 1-a}=\frac{1}{A\varepsilon\sigma(T_1+T_a)(T_1^2+T_a^2)} \tag{8}$$

$$R_{r,\ 2-3}=\frac{1}{A\sigma(T_2+T_3)(T_2^2+T_3^2)}\frac{\frac{1}{\varepsilon_2}+\frac{1}{\varepsilon_3}-1}{} \tag{9}$$

$$R_{c,\ 4-t}=\frac{1}{1.776A(T_t-T_4)^{\frac{1}{4}}} \tag{10}$$

$$R_{c,\ 1-a}=\frac{1}{6.518A(V)^{\frac{3}{4}}} \tag{11}$$

그리고 N개의 지지대가 S의 균일한 격자간격으로 배열되어 있을 경우에 지지대를 통한 전체 열저항 R_s는 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_s=\frac{\sqrt{3}}{2}\frac{S}{A}(R_{spac}+R_{contact}) \tag{12}$$

여기서 지지대의 접촉부분에 대한 열저항 $R_{contact}$와 지지대의 열저항 R_{spac}은 지지대의 반경 r과 직경 d로부터 아래 식으로 나타낸다.(Chen and Tien (1973))

$$R_{spac}=\frac{1}{k\pi d}(1+\frac{Z}{1+0.28Z}) \tag{13}$$

여기서, $Z=(1-\frac{r_c}{r})^{\frac{1}{2}}$

$$R_{contact}=\frac{0.53}{kr_c} \tag{14}$$

여기서, $r_c=[\frac{3\sqrt{3}}{8}\frac{P}{E}(1-\mu^2)s^2d)]^{\frac{1}{3}}$이며 이 식에서 P는 대기압, E는 유리창의 Young's module, μ는 유리창의 Poisson's ratio를 나타낸다.

이 때 전체 모서리 부분의 열저항(R_t)은 내외측 유리창에서의 프레임 부분($R\sigma$, $R\omega$), 유리창 자체의 열저항(R_g) 및 모서리 부분만의 열저항(R_{cdge})이 병렬회로로 구성되어 있다고 가정하면 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$R_t=R_{cdge}+R_g+R\sigma+R\omega \tag{15}$$

$$R_{cdge}=\frac{t+d}{kL\delta} \tag{16}$$

$$R_g=\frac{\Delta X}{kLt} \tag{17}$$

$$R\sigma=R_{buff}+R_a \tag{18}$$

$$R\omega=R_{buff}+R_t \tag{19}$$

여기서 L은 모서리 부분의 주변길이(m), ΔX는 node의 간격(m), δ는 모서리 접합부분의 폭(m)을 나타내며, R_{buff}는 프레임 자체의 열저항, R_a는 실외측, R_t는 실내측의 표면열저항을 나타낸다.

결과적으로 창의 종합열전달계수(U)는 전체열저항 R_t(식(1))로부터 아래 식으로 나타낼 수 있다.

$$U=\frac{1}{R_t}(W/m^2K) \tag{20}$$

3.2 창의 전체 투과율(Overall transmittance)

일반적으로 여러층을 형성하고 있는 시스템의 경우에 대한 각층 및 전체의 복사물성치(투과율, 흡수율, 반사율)를 계산하는 방법은 ray tracing method와 net radiation method의 두가지 방법이 있는데 net radiation method를 이용하여 각 층의 복사물성치를 나타내면 아래와 같다.[7]

$$T_t(m) = T_t(m-1) \cdot X_r \quad (21)$$

$$R_t(m) = R_m T_m R_t(m-1) \cdot X_r \quad (22)$$

$$a_t(m) = a_t(m-1) n \cdot X_r \quad (n=1, 2, 3, \cdots, m-1) \quad (23)$$

$$a_m(m) = a_m + a_m \cdot R_t(m-1) \cdot X_t \quad (24)$$

$$X_r = \frac{T_m}{1 - R_m R_t(m-1)} \quad (25)$$

여기서 a는 흡수율, R은 반사율, T는 투과율을 나타내고 첨자 t는 전체 시스템, m은 각 층을 나타낸다. 즉, $T_t(m)$, $R_t(m)$, $a_t(m)$은 m층으로 이루어진 시스템에서의 전체 투과율, 반사율 및 흡수율을 나타내며 $a_m(m)$은 m층에서의 흡수율을 나타낸다.

3.3 저방사 유리의 개념

태양으로부터 방출되어 지표면에 도달한 태양복사선은 일반적으로 자외선, 가시광선, 자외선이 있다. 지표면에서의 태양복사선의 스펙트럼 분포는 약 0.3~2.5㎛의 파장범위에 위치하는데, 이중에서 가시광선은 0.38~0.78㎛로서 47%를 차지하고 자외선은 가시광선보다 짧은 파장으로 5%를 차지하며 근적외선은 0.78~2.5㎛로서 48%를 차지한다. 태양복사열중에서 근적외선은 주로 열적인 효과를 발휘하는데 지상에서의 태양열 이용은 주로 이 영역의 효과적인 활용이 될 것이다.

일반적으로 태양복사열의 경우 대부분의 에너지가 3㎛이하로서 단파장인 반면에 실내의 상온의 물체로부터 방출되는 에너지는 3㎛~16㎛의 장파장 영역이다. 유리의 투과특성은 3㎛까지의 단파장에 대해서는 대부분의 복사에너지를 투과시키는 반면에 장파장 영역에서는 투과율이 0을 나타낸다. 즉 유리는 단파장 복사에 대해서는 투과체인 반면에 장파장 복사에 대해서는 불투명체가 됨을 의미한다.

일반적으로 물체의 복사특성은 투과율, 반사율, 흡수율 및 방사율에 의해서 달라지게 되는데 흡수율과 방사율은 물체의 표면온도를 결정하는 주요인자이다. 단파복사인 태양에너지를 수열하는 불투명 벽체의 경우 표면의 흡수, 반사특성에 따라 도달량 중 일부는 반사되고 나머지는 표면에 흡수되어 물체의 온도를 상승시킨다. 이 때 한 번 흡수된 에너지는 표면온도의 상승에 따라 장파복사 형태로 에너지를 방출하게 되며 장파복사에 의한 방출량은 재료표면의 방사율에 의해 결정된다. 즉 태양에너지를 효과적으로 이용하기 위해서는 물체에 흡수된 에너지와 장파복사로 손실되는 에너지를 가능한 한 줄여줌으로써 표면온도를 상당히 높게 유지할 때 에너지손실을 감소시킬 수 있을 것이다. 이것이 저방사 유리의 기본 개념이다.

4. 모델 건물

본 연구를 위하여 채택한 대상 건물은 천정과 바닥면적이 각각 30㎡이며 높이가 3m인 남향의 정방형 건물구조이다. 이 때 기본적으로 남향면에 설치된 창은 3m(W)×1m(H)인데 연구내용에 따라서 창의 크기와 설치방향을 변화시켰다.

벽체 및 천정은 약 0.6W/㎡K 정도의 총합열전달계수를 갖는 구조를 채택하였는데 정확한 열적 특성을 Table 1에 나타내었다. 실내의 온습도의 설정조건은 각각 21℃, 50%로 하였으며 외기조건은 서울의 기상자료를 이용하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 진공창 및 일반창

일반적으로 진공창은 창내부가 진공상태(10^{-6} torr)로 유지되고 있기 때문에 창을 통한 전도열이나 대류열은 거의 차단된다고 할 수 있다. 그러나 창을 통한 복사열은 일반창과 같이 손실이 일어난

Table 1 Thermal characteristics and TFC (Transfer Function Coefficient) of a model building

Building element	Transmittance	Reflectance	Absorptance	TFC
Wall		0.84	0.763	$I_{out}=2$, $N_{ubi}=37$
Ceiling		0.24	0.70	$I_{out}=1$, $N_{ubi}=10$
Floor		0.04	0.70	$I_{out}=2$, $N_{ubi}=37$

다. 그러므로 진공창의 복사열손실을 차단시켜서 단열성을 강화시키기 위해서는 내창 표면에 저방사코팅의 처리는 불가피하다.

따라서 본 연구에서는 두가지 종류의 저방사코팅창(hard코팅, soft코팅)을 일반이중창과 진공창에 적용하였을 때에 총합열전달계수 및 투과율의 변화를 계산한 후, 이 결과를 이용하여 창들이 실제 건물에 적용되었을 때의 냉난방 에너지소모량의 변화를 TRNSYS 프로그램(U of Wisconsin-Madison)에 의하여 검토하였다.

본 연구에서 이론해석을 위하여 이용한 진공창은 유리창의 두께가 6mm이고 창사이의 간격이 0.4mm, 지지대의 반경이 0.2mm, 유리로 접합된 모서리의 폭은 12mm이고 접합된 재질은 7740 pyrex glass ($K=1.05W/m^2K$)로 하였다. 진공창과 에너지성능 비교를 위하여 이용된 일반 이중창은 6mm 두께의 유리로서 진공창과 같은 유리를 이용한 것으로 가정하였고, 창사이의 간격은 12mm로서 내부에 공기가 들어있는 것으로 가정하였다.

이 때 저방사코팅이 창에 미치는 영향을 검토하기 위하여 hard 코팅이나 soft 코팅이 이중창 내부의 내창 한 면에 코팅되어 있는 경우와 양면 모두에 코팅되어 있는 경우에 대하여 창 내부를 진공으로 한 진공창과 창 내부에 공기가 들어있는 일반 이중창인 경우에 대하여 열적 특성(총합열전달계수, 전체투과율)을 검토하였다.

Table 3은 본 연구에서 진공창의 총합열전달계수 해석을 위하여 개발된 알고리즘에 의하여 계산된 각 창의 총합열전달계수(U)와 전체투과율(XTT)을 나타낸 것이다. 이 표에서 보면 유리창에 저방사코팅을 하면 전반적으로 투과율은 약 20% 정도 감소하지만 총합열전달계수는 30% 이상 감소하는 것을 알 수 있다. 저방사코팅의 영향은 일반 이중창보다는 진공창의 경우에 더 큰 영향을 미쳐서 hard 코팅을 유리창의 한면에만 할 경우에도 50% 가까이 총합열전달계수가 감소하는 경향을 나타내었다.

Table 2 Thermal characteristics of glazings

Glass	Thickness	Emissivity	Absorptance	Transmittance	Reflectance
Clear glass	6mm	0.84	0.142	0.783	0.074
Low-ε glass(hard coating)	6mm	0.21	0.10	0.70	0.20
Low-ε glass(soft coating)	6mm	0.01	0.10	0.70	0.20

결과적으로 soft 코팅을 유리창의 양면에 할 경우, 일반 이중창의 총합열전달계수가 $1.74W/m^2K$인데 비하여 진공창의 경우에는 총합열전달계수가 $0.48W/m^2K$까지 감소하는 경향을 나타내었다.

전반적으로 hard 코팅을 양면에 하였을 경우에는 한면에 하였을 때 보다 총합열전달계수의 감소에 상당한 영향을 미쳤지만 soft 코팅을 양면에 하더라도 한면에 한 경우와 큰 차이를 나타내지 않았다.

5.2 냉난방 에너지 소모량

본 연구에서는 이들 창들이 건물의 에너지소모량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 TRNSYS 프로

Table 3 Overall U value and transmittance of double pane glass and vacuum window glazing

Window		U value (W/m^2K)	Overall transmittance (XTT)
Double pane glazing	Clear glass	3.0	0.616
	Low-ε glass(Ⅰ) (two face hard coating)	2.0	0.5
	Low-ε glass(Ⅱ) (two face soft coating)	1.74	0.5
	Low-ε glass(Ⅲ) (one face hard coating)	2.2	0.5
	Low-ε glass(Ⅳ) (one face soft coating)	1.79	0.5
Vacuum window glazing	Clear glass	2.4	0.616
	Low-ε glass(Ⅰ) (two face hard coating)	0.94	0.5
	Low-ε glass(Ⅱ) (two face soft coating)	0.48	0.5
	Low-ε glass(Ⅲ) (one face hard coating)	1.26	0.5
	Low-ε glass(Ⅳ) (one face soft coating)	0.57	0.5

그램을 이용하였는데, Fig.3에 이 창들의 동적 거동을 해석하기 위하여 수정한 TRNSYS 프로그램의 개요도를 나타내었다.

Fig.4에는 에너지소모량 예측을 위하여 사용한 서울의 1월달(동계)과 8월달(하계)의 1일간에 대한 대표적인 기상데이터(외기온, 남향면 일사량)를 나타내었다. 이 그림에서 보면 본 해석에 이용된 외기온은 동계에는 −5℃~0℃를 나타내었고 하계에는 24℃~27℃를 나타내었다.

이와 같은 기상조건하에서 저방사코팅이 된 이중창이나 진공창이 건물에 설치되었을 때 이들이 에너지소모량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 창의 크기를 3㎡, 6㎡, 9㎡, 12㎡, 15㎡(바닥면적에 대한 창면적비 10%, 20%, 30%, 40%, 50%)로 변경시켰을 경우와 창의 설치방향이 동, 서, 남, 북으로 변화되었을 때에 대한 냉난방 에너지소모량을 비교분석하였다.

5.2.1 난방에너지 소모량

Fig.5, 6는 남향면에 설치된 창이 12㎡(바닥면적의 40%)일 때에 각종의 일반 이중창과 진공창에 대한 1월달의 1일간에 대한 난방에너지 소모량을 나타낸 것이다. 그림에서 GEN은 일반 이중창을 나타내는데 clear glass는 투명 유리창인 경우이고 LOW-E H1, LOW-E H2는 각각 저방사 hard코팅이 한면, 양면에 되어 있는 경우를 나타내며 LOW-E S1, LOW-E S2는 각각 저방사 soft 코팅이 한면 또는 양면에 되어 있는 경우를 나타낸다. 그리고 그림에서 VAC는 진공창인 경우를 나타낸다.

그림에서 에너지소모량이 '−'값을 나타내는 것은 실내온도의 설정치 21℃를 유지하기 위하여 난방에너지가 요구된다는 것을 의미하고 '+'값을 나타내는 것은 일사량의 영향으로 냉방에너지가 요구된다는 것을 의미한다.

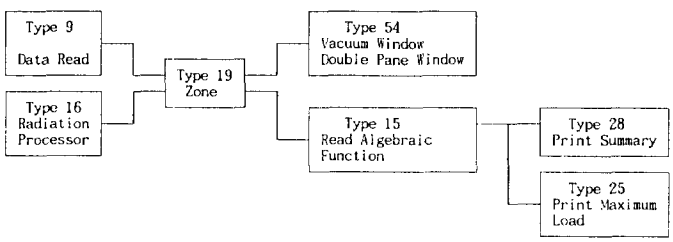

Fig.3 Flow chart of TRNSYS program for load analysis of building with vacuum window glazing

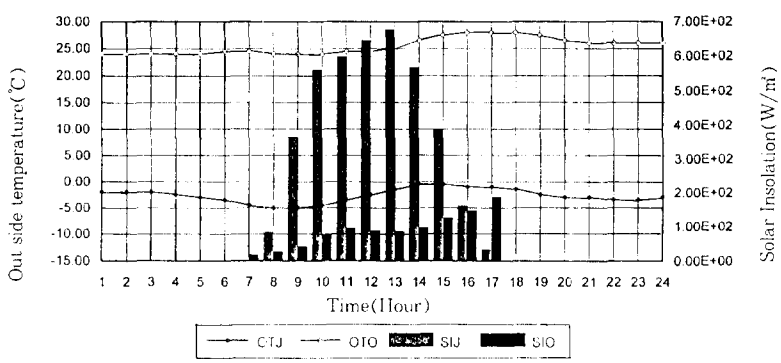

Fig.4 Typical weather data of Seoul during Jan. and Aug. for energy consumption analysis

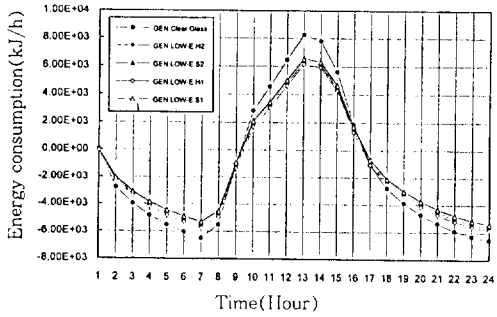

Fig.5 Heating energy consumption of a model building with double pane glazing

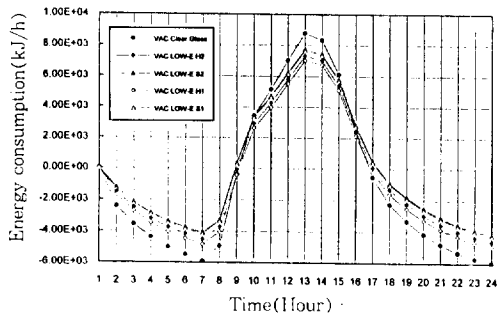

Fig.6 Heating energy consumption of a model building with vacuum window glazing

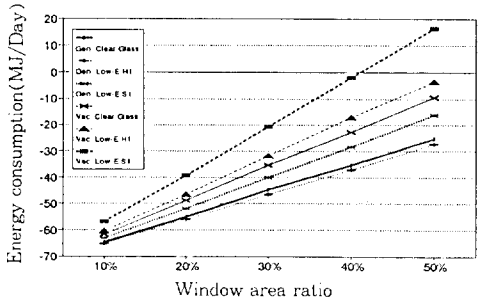

Fig.7 Heating energy consumption of a model building on the variations of window size (one face coating)

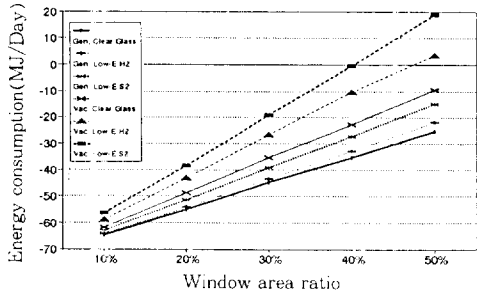

Fig.8 Heating energy consumption of a model building on the variationss of window size(two faces coating)

그림에서 볼 때 전체적으로 일사량이 없는 오전 9시 이전이나 17시 이후에는 난방에너지가 요구되고 있지만 일사량이 존재하는 오전 10시~오후 4시에는 창을 통한 실내로 입사되는 일사량의 영향으로 실내를 설정온도로 유지시키기 위해서는 냉방에너지가 요구되는 것을 알 수 있다.

이러한 상반된 냉난방에너지의 요구 경향은 투명유리창을 이용한 경우에 더 분명하게 나타나는데 이는 일사량에 대한 창의 투과율이 저방사코팅을 한 경우보다 약 20% 정도 더 크기 때문이다. 그림에서 볼 때 난방에너지의 요구정도는 일반 이중창이나 진공창 모두 저방사코팅을 한 경우가 하지 않는 경우보다 낮고, 저방사코팅을 하였을 때는 soft 코팅을 한 경우가 hard 코팅을 하였을 경우보다 낮은데 일반 창에서보다는 진공창에서 이러한 경향이 더욱 분명히 나타남을 알 수 있다.

Fig.7, 8은 바닥면적(30㎡)에 대한 남향면 창의 크기를 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 증가시켰을 경우에 대하여 hard코팅과 soft코팅을 내창의 한면 또는 양면에 하였을 경우에 대한 1월달 1일간의 전체 난방에너지 소모량을 나타낸 것이다.

그림에서 볼 때 전체적으로 창의 크기가 커지면 난방에너지의 요구량은 줄어드는 경향을 보이고 있으며 창의 크기가 50%인 경우에는 진공창을 하였을 경우 주야간 전체 난방에너지 소모량이 거의 요구되지 않음을 나타낸다.

또한 일반 이중창에 코팅을 한 경우보다는 진공창에 코팅을 한 경우보다 창크기가 바닥면적의 20% 일 때 20% 정도 난방에너지의 감소를 나타내는데 이러한 에너지소모량의 감소는 창의 크기가 커질 경우에 더욱 크게 나타났으며 저방사 hard코팅이 된 경우보다는 soft코팅이 된 경우에 더욱 크

게 나타났다. 그러나 코팅의 수를 한면에서 양면으로 늘렸을 때 일반 이중창에 soft코팅을 한 경우에는 거의 차이가 없고, hard코팅을 한 경우에도 3% 미만의 적은 에너지소모량 감소를 나타내었다. 그리고 진공창에 soft 코팅을 한 경우에는 큰 영향을 미치지 못하였지만 hard코팅을 한 경우에는 약 7% 정도의 에너지소모량 감소를 나타내었다. 이러한 에너지소모량의 감소경향은 창의 크기가 커짐에 따라 더욱 선명하게 나타났다. 일반 이중창의 경우에는 창의 한면에 코팅을 할 경우에는 hard코팅을 할 경우가 코팅을 하지 않는 경우보다 전체적으로는 오히려 많은 난방에너지를 요구하는 특이한 현상을 나타내었는데 이는 저방사코팅유리가 일반창에 비해 총합열전달계수 뿐만 아니라 태양에너지 투과율도 감소하기 때문이다.

Fig.9, 10은 바닥면 기준 크기가 40%인 창이 동, 서, 남, 북쪽의 벽면에 설치되어 있을 때 일반 이중창과 진공창에서의 난방에너지 소모량을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 두 경우 모두 일사량의 영향에 따라서 북쪽 창에서 가장 많은 에너지가 소모되고 동쪽과 서쪽 창에서는 거의 유사한 에너지가 소모되었으며 남쪽 창에서 가장 적은 난방에너지가 소모되었다.

이러한 방위별 에너지소모량의 차이는 남향면에서 가장 적게 나타나 일반 이중창에 soft 코팅을 한 경우 코팅을 하지 않은 경우보다 약 10% 정도의 난방에너지 차이를 나타내는데 비하여 동쪽이나 서쪽면에 설치된 창에서는 약 16% 정도의 난방에너지 소모량 차이를 나타내었다.

이러한 에너지소모량의 차이는 진공창에서 더욱 크게 나타나서 투명진공창에 soft 코팅을 한 경우에 약 30~40% 정도의 난방에너지 소모량의 감소를 나타내어 남향면에서 보다는 이외의 방향에서 코팅된 진공창이 효과적임을 나타내었다.

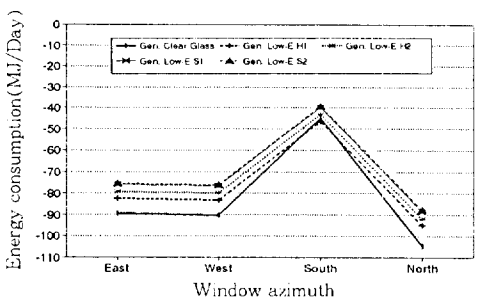

Fig.9 Heating energy consumption of a model building on the variationss of window azimuth(double pane glazing)

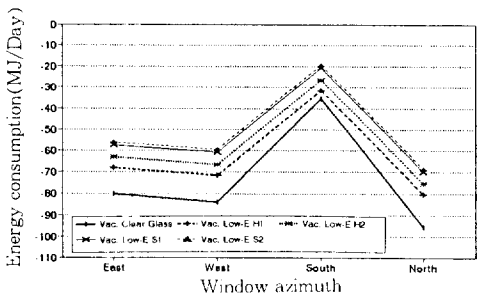

Fig.10 Heating energy consumption of a model building on the variationss of window azimuth(vacuum window glazing)

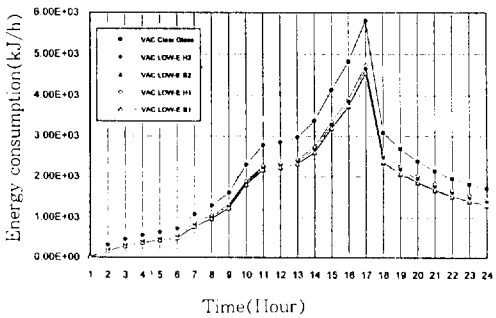

Fig.11 Cooling energy consumption of a model building with double pane glazing

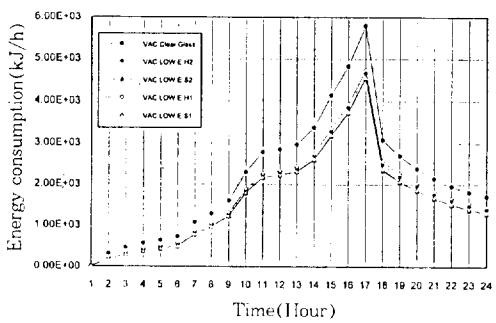

Fig.12 Cooling energy consumption of a model building with vacuum window glazing

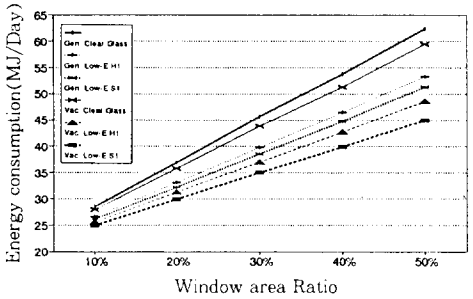

Fig.13 Cooling energy consumption of a model building on the variations of window size(one face coating)

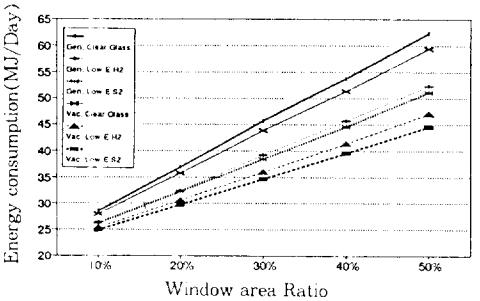

Fig.14 Cooling energy consumption of a model building on the variations of window size(two face coating)

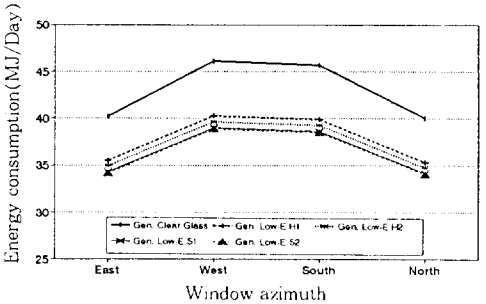

Fig.15 Cooling energy consumption of a model building on the variations of window azimuth(double pane glazing)

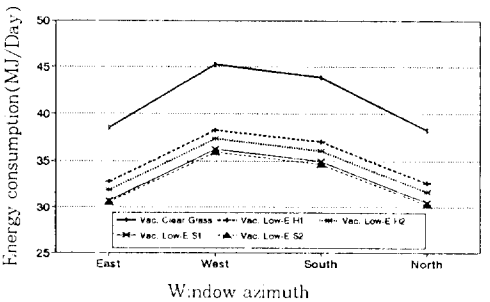

Fig.16 Cooling energy consumption of a model building on the variations of window azimuth(vacuum window glazing)

5.2.2 냉방에너지 소모량

Fig.11, 12는 남향면에 설치된 이중창과 진공창(창크기 : 12㎡, 바닥면적의 40%)에 대한 8월달의 1일간에 대한 냉방에너지 소모량을 나타낸 것이다. 그림에서 보면 전체적으로 냉방에너지는 증가하는 경향을 나타내었다가 17시 이후에는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이것은 남향면에 설치되어 있는 창의 크기가 상당히 큰 편이기 때문에 16시까지 일사량의 영향을 많이 받기 때문이라 사료된다.

그리고 일반 이중창이나 진공창의 경우 모두 투명창을 이용한 경우와 저방사코팅창을 이용한 경우에 냉방부하의 차가 점차 증가추세를 나타내어 일사량이 존재하는 경우에 최고 약 15% 정도 차이를 나타내고 있다. 그러나 저방사코팅 창들에 따른 냉방에너지 소모량은 큰 차이를 나타내지 않았다. 즉 이것으로부터 볼 때 하절기에는 저방사코팅의 종류나 면수가 냉방에너지 소모량에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig.13, 14는 남향면 창의 크기를 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 증가시켰을 경우에 대한 8월달 1일간의 냉방에너지 소모량을 나타낸 것이다. 이 그림을 보면 창의 크기가 증가함에 따라서 냉방에너지 소모량은 점차 증가하는 경향을 나타내는데 일반창에 대한 진공창의 에너지소모량은 차이를 나타내지만 창의 크기가 증가하여도 코팅의 수나 종류에 따른 에너지소모량은 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다.

Fig.15, 16은 각 방위에 따른 일반창과 진공창의 냉방에너지 소모량을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 서쪽과 남쪽벽에 창이 설치되어 있을 때가 동쪽이나 북쪽보다는 냉방에너지가 더 많이 소모되는

것을 알 수 있다.

그리고 앞에서의 결과와 같이 방위에 따른 냉방에너지 소모량도 일반 이중창이나 진공창 모두 저방사코팅을 한 경우와 하지 않는 경우에 대한 에너지소모량은 10% 이상 차이를 나타냈지만 저방사코팅의 종류에 따른 냉방에너지 소모량은 큰 차이를 나타내지 않았다.

이것으로부터 볼 때 진공창에 저방사코팅을 할 경우 동절기에는 저방사코팅의 수나 종류가 에너지소모량에 상당한 영향을 미치지만 하절기에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

5.2.3 냉난방 전체 에너지소모량

Fig.17, 18은 남향 창이 바닥면적을 기준으로 10%, 20%, 30%, 40%, 50%로 증가하는데 따른 1월달 1일간의 난방에너지와 8월달 1일간 냉방에너지를 합한 전체에너지 소모량을 나타낸 것이다. 그림에서 보며 일반 이중창인 경우는 창의 크기가 증가할 경우에도 전체에너지 소모량은 큰 차이를 나타내지 않지만 코팅이 되면 모든창의 경우에 창 크기의 증가에 따라 에너지소모량의 감소추세가 뚜렷하게 나타남을 볼 수 있는데 진공창인 경우에 더욱 뚜렷한 감소추세를 나타내었다.

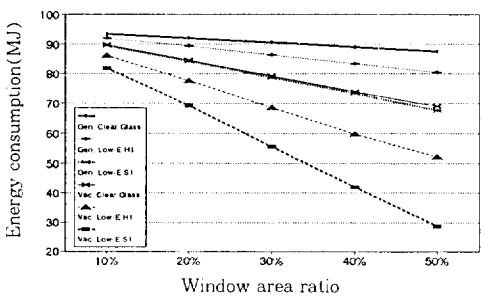

Fig.17 Total energy consumption of a model building on the size variation of one face low-ε coated window

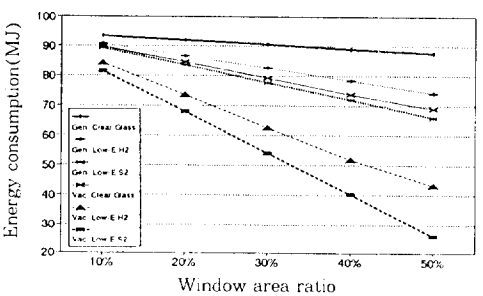

Fig.18 Total energy consumption of a model building on the size variation of two face low-ε coated window

결과적으로 창의 크기를 50%로 할 경우 일반 이중창에 비하여 hard 코팅을 할 경우 1/3 이상, soft 코팅을 할 경우 2/3 이상 전체 냉난방에너지가 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 진공창의 경우가 저방사코팅을 하지 않을 경우에도 일반창에 코팅을 한 경우보다 에너지소모량이 적은 결과를 나타내었다.

6. 결 론

진공창(vacuum glazing)은 1893년에 최초로 기본 개념이 시작되었지만 실제 제작이 어렵기 때문에 지금까지 실용화로 연결되지 못하였다. 그러나 1990년대 들어와 유리창의 접합기술, 코팅기술, 진공기술 및 설계기술 등의 발전에 따라 호주, 미국 등을 중심으로 연구개발에 성공하여 현재 실용화 가능성을 한층 높여주고 있다.

따라서 본 연구에서는 진공창의 단열성능 향상에 필수적인 각종의 저방사코팅을 내창 표면에 적용하였을 경우에 대한 열적 성능변화를 검토함으로써 향후 진공창의 단열성능 개선에 이용코자 하였다.

연구결과 첫째, 진공창의 경우에 저방사코팅을 하지 않을 경우에도 일반창에 저방사코팅을 한 경우보다 냉난방 전체에너지 소모량이 적은 결과를 나타내었다. 둘째, 진공창에 저방사코팅의 적용은 성능개선을 위하여 필수적인데 하절기 보다는 동절기에 효과가 더욱 컸다. 셋째, 창의 크기가 증가함에 따라서 진공창인 경우에 에너지소모량의 감소추세가 뚜렷하게 나타나 창의 크기를 바닥면적의 50%로 하였을 경우 일반 이중창에 비하여 2/3까지 전체 냉난방에너지를 감소시킬 수 있음을 나타내었다.

즉 결과적으로 진공창의 열성능을 개선시키기 위하여 저방사코팅은 필수적으로 요구되며 진공창을 실제건물에 적용시 상당한 에너지절약효과가 기대된다.

참 고 문 헌

1. Jochen Fricke, 1987, "Thermal Insulation Materials from the Sol-Gel Process", Sol-Gel Technology
2. R. E. Collins, A. C. Fischer-Cripps and J. J. Tang, 1992, "Transparent Evaluated Insulation", Solar Energy, Vol. 49, No. 5
3. 이남호 외, 1996, "집열창의 일사획득계수 산정 기술 개발 연구(I)", 한국에너지기술연구소 보고서
4. D. K. Benson, 1990, "Vacuum Window Glazings for Energy Efficient Buildings", SERI report
5. R. Siegel, J. R. Howell, 1981, "Thermal Radiation Heat Transfer", McGraw Hill
6. Solar Energy Lab., 1994, "TRNSYS(A Transient System Simulation Program)", U of Wisconsin-Madison