

# 창의 개폐방식별 기밀성능에 따른 단열성능 시뮬레이션 보정치 산출

이진성\*, 조 수\*\*, 손장열\*\*\*

\*한양대학교 대학원 건축공학과(truestar@kier.re.kr), \*\*한국에너지기술연구원(scho@kier.re.kr),  
\*\*\*한양대학교 건축공학과(jysohn@hanyang.ac.kr)

## Revise the Value of Simulation on Thermal Performance Depending on Air-tightness Performance Classified by Opening Type of Windows

Lee, Jin-Sung\*, Cho, Soo\*\*, Sohn, Jang-Yeul\*\*\*

\*Dept. of Architecture Engineering, Graduate School, Hanyang University(truestar@kier.re.kr),  
\*\*Korea Institute of Energy Research(scho@kier.re.kr),  
\*\*\*Dept. of Architectural Engineering, Hanyang University(jysohn@hanyang.ac.kr)

### Abstract

The purpose of this research is revise the value yield to compensate of measure the difference between computer simulation and the measurement value on the two methods which can calculates thermal performance.

The way is need to understand about thermal performance, air tightness, simulations and comparisons of analysis to influence the value of each identified. The opening type of the windows and doors to be used at the analysis are T/T, L/S and SL Different condition of the windows and doors excluded except the opening type. Each of the four samples was selected by the way of opening. Result of the analysis of the difference between measurement and simulation are that T/T approach 5.3%, L/S approach 15.7%, SL approach 21% and the more air-tightness guarantees less difference of the numerical value. Each compensation value calculates by the correlation regression analysis and the air-tightness data. After the compensation of the resulting difference in T/T, L/S, SL indicate 5.4%, 2.5%, 1.0% respectively.

Keywords : 창(Window), 개폐방식(Opening Type), 기밀성능(Air-tightness Performance), 썸(Therm), 윈도우(Window), 시뮬레이션(Simulation)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

건물의 외피부분 중 창호가 차지하고 있는 면

적은 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 창호는 열적으로 취약한 부분이기 때문에 창호를 통해 발생하는 건물의 에너지 손실 역시 증가하고 있는 실정이다. 이러한 창호를 통한 에너지손실의

투고일자 : 2008년 7월 16일, 심사일자 : 2008년 7월 25일, 게재확정일자 : 2008년 8월 21일  
교신저자 : 이진성(truestar@kier.re.kr)

저감을 위해 세계적으로 다양한 분야에서 창호의 단열성능 향상을 위한 연구와 기술의 개발이 이루어지고 있다.

그러나 개발된 창호의 성능을 파악하기 위해서는 창호 단열성능 측정에 의한 측정값만이 그 제품에 대한 성능을 나타낼 수 있는 것이 현재의 실정이다.

새롭게 개발된 신제품 창호의 단열 성능측정을 위하여 창호의 시제품 제작에 따른 경비손실과 제작기간의 소요 등 경제적인 면과 효율성에 있어서 많은 문제점을 내포하고 있으며 다양한 제품을 개발·생산하는 제조사에게는 커다란 부담으로 인식되고 있다.

선진국에서는 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로써 창호의 성능 평가를 위한 컴퓨터 시뮬레이션 개발에 많은 투자를 하고 있으며, 미국에서는 LBNL<sup>1)</sup>에서 개발된 창호의 단열성능 평가용 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 NFRC<sup>2)</sup>에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 창호의 성능을 평가하여 인증 라벨을 발급하고 있다.

## 1.2 연구의 필요성

국내에서 창의 열성능을 평가하는데 사용하고 있는 대표적인 시험방법 및 장비운용은 KS F 2278 '창호의 단열성능 시험방법'(이하 KS F 2278로 표시)[6]에 의거하고 있다.

시험장비의 특징을 살펴보면 건물의 실내외부에 준하는 각 챔버로 구분되며 챔버별로 압력의 차가 존재한다. 또한 챔버간의 온도차가 20℃에 이르기 때문에 온도차에 의한 기류의 이동이 일어나며 이 압력차 및 온도에 의한 기류이동에 의하여 창의 개구부를 통해 열의 이동이 발생하게 된다.

실제로 동일한 재질 및 구성재료를 가지고 있는 창의 경우에도 이러한 개구부의 존재여부 및 크기에 따라서 열성능에 커다란 영향을 미치고 있는 것이 사실이다.

하지만 현재 개발되어 사용되고 있는 창의 단열성능 평가용 컴퓨터시뮬레이션 프로그램은 기본적으로 창을 구성하는 각 재료의 열전도와 프레임 내부공간 및 복층유리의 간극에서 발생하는 대류에 의한 열전달을 계산하는 기본이론을 바탕으로 하여 단열성능에 관한 결과값을 산출하고 있다. 즉 시뮬레이션 이론의 배경은 창이 단혀 있을 경우 창의 전체면적 중에 내외부를 연결하는 간극 자체가 없다고 가정하고 있다. 이러한 이유 때문에 실제 시험시에 발생하는 압력차 및 온도차에 의한 열전달이 반영되지 않고 있다. 챔버의 압력차 및 온도차에 의한 기류이동의 반영이 적절하게 이루어지지 않을 경우 시뮬레이션에 의한 단열성능값과 실측시험을 통한 단열성능값은 실질적으로 일치하지 않게 된다.

본 연구에서는 위와 같은 문제점 인식을 바탕으로 하여 실제 시험에 있어서 창호의 개폐방식에 따른 공기의 유동량이 시뮬레이션과 실측치에 어느 정도 영향을 미치는 지와 이러한 영향을 시뮬레이션 결과에 반영시킬 수 있는 보정값 산출을 목적으로 하고 있다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

국내에서 시판되고 있는 창호의 단열성능측정값과 시뮬레이션프로그램을 통한 단열성능 산출값을 상호 비교하여 개폐방식에 따른 단열성능의 차이를 확인하였다. 또한 개폐방식에 의해 영향을 받는 기밀성능을 측정하여 통기량이 실측값에 미치는 영향을 파악하고 이를 통해 시뮬레이션 보정값 산출을 하였다.

창호에 대한 성능시험 분석 항목은 아래와 같다.

- ① 단열성능 시험
- ② 기밀성능 시험
- ③ *Simulation*을 통한 단열성능 평가 (*Windows, Therm* 이용)
- ④ 실측값과 시뮬레이션 값의 비교·분석

1) LBNL : Lawrence Berkeley National Laboratory

2) NFRC : National Fenestration Rating Council

대상창호는 개폐방식에 따라서 분류를 하였고 창호의 재질은 본 연구에서는 큰 영향을 미치는 인자가 아니기 때문에 분류대상에서 제외하였다. 연구의 대상으로 선정된 개폐방식은 현재 창호 시장에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 개폐방식인 SL(*Sliding*, 미서기), T/T(*Tilt&Turn*), L/S(*Lift&Sliding*)의 3가지 개폐방식으로 분류하였다.

창의 열성능을 직접 측정할 수 있는 열관류율 측정실험과 개폐방식별 통기량 파악을 위한 기밀성능 측정실험을 개폐방식별로 분류하여 실시하였다.

창호 열성능 해석용 프로그램을 이용한 시뮬레이션 역시 기밀성능과 단열성능과의 상관관계에 따른 값을 비교하기 위하여 실측시료와 동일한 조건으로 모델링하여 결과값을 산출하였다. 표 1은 대상 시료의 개폐방식과 재질별 창호의 분류 내용을 담고 있다.

표 1. 실험 및 시뮬레이션 대상창호의 분류

재질 \ 개폐방식	SL ( <i>Sliding</i> , 미서기)	T/T ( <i>Tilt&amp;Turn</i> )	L/S ( <i>Lift&amp;Sliding</i> )
플라스틱	3(B, C, D)	2(A, E)	1(H)
알루미늄	1(F)	-	3(G, J, K)
알루미늄+목재	-	2(I, L)	-

\* 괄호내(시료구분 문자 : 표 3, 4, 6 참조)

### 3. 성능평가시험

#### 3.1 단열성능평가

연구의 목적에 부합하도록 실측된 창호의 단열성능과 시뮬레이션을 통한 열성능의 차이점을 비교하기 위하여 개폐방식에 따라 창호를 분류하였고 분류된 각 시료의 열성능 평가를 KS F 2278에서 규정하고 있는 시험방법에 따라 실시하였다.

KS F 2278은 크게 3단계로 구성되어 있다. 첫 번째, 향온실 및 저온실의 기류 조건에 의한 표면 열저항( $R_i$ ,  $R_o$ ) 값을 파악하기 위한 시험 두 번째, 챔버내에서 손실되는 열량 값을 파악하기 위

한 열량 보정 시험, 마지막으로 실제 창호를 설치하여 측정 하는 열관류율 시험으로 나누어진다.

실험시 측정되는 데이터는 시편면의 표면온도, 공기온도, 가열실 내부의 Heater 및 Fan의 구동 열량이다. 이 값들을 데이터 수집 장치를 이용하여 수집하였다. 표 2는 창호의 단열성능 평가시 챔버별 온도 조건을 나타낸 것이다.

KS F 2278에 의하면 정상상태 후 30분 간격으로 3회 측정하게 되어 있으나 정밀한 측정값을 얻기 위하여 정상상태(온도평형)가 된 후 8시간 후에 1시간동안의 측정값을 평균하여 사용하였다.

표 2. 단열성능시험용 각 챔버별 온도조건

명 칭	온 도[°C]
향온실 · 가열상자	20 ± 1
저온실	0 ± 1



(a)표준판(열량보정)

(b)시료 실측

그림 1. 표준판과 시험체의 챔버내 설치모습

각 계측량을 이용하여 열관류율(=1/열관류 저항)을 계산하는 식은 다음과 같다.

$$R_w = \frac{1}{K(=U)} = \frac{(T_{HA,Aver.} - T_{CA,Aver.})A_w}{Q_H + Q_F - Q_i} \quad (1)$$

여기서,

$K(=U)$  : 열관류율 [ $W/m^2K$ ]

$Q_i$  : 교정열량 [W]

$Q_H$  : Heater의 공급열량 [W]

$Q_F$  : Fan의 공급열량 [W]

$T_{HA,Aver.}$  : 가열상자측 평균 공기 온도 [°C]

$T_{CA,Aver.}$  : 저온실측 평균 공기 온도 [°C]

$R_w$  : 창문의 열관류저항 [ $m^2K/W$ ]

$A_w$  : 전열면적(유리+프레임) [ $m^2$ ]

### 3.2 기밀성능평가

창호개폐방식에 따라 변화하는 통기량이 단열성능에 미치는 영향, 즉 상관성을 확인하기 위하여 기밀성능에 대한 실험을 실시하였으며 실험방법은 KS F 2292 ‘창호의 기밀성 시험방법’ (이하 KS F 2292로 표시)[7]에 의거하여 수행하였다. 내외부의 기준 압력차를 10 Pa로 하였으며 압력차를 발생시킨 후 유량이 안정 되었을 때의 통기량을 산출하였다. 통기량은 가압시에 시험체 면적  $1m^2$ 에 대하여 1시간당 유량으로 나타내었다.

### 3.3 시뮬레이션 평가

본 연구에서는 창호시스템의 종합적인 열성능 분석이 가능하며 현재 사용자에 의해 Library 편집이 가능한 WINDOW, THERM프로그램을 이용하여 각 개폐방식에 따른 창의 단열성능을 평가하였다.

시뮬레이션은 실측시험에 사용된 창호의 도면을 이용하여 동일한 치수와 형태를 구성하여 수행하였다. 일반적으로 창호의 열성능에 대한 시뮬레이션을 하기 위해서는 하나의 창을 7개를 위치별 부재로 구분하여 각각의 Therm 파일을 구성해야만 Window프로그램으로 Export하여 창호 전체의 열관류율을 구할 수 있다.[3, 4]

Window 프로그램 상에서 각 대상창호별 글레이징시스템은 실측시료와 동일한 온도조건 및 유리두께, 가스충진층의 가스를 이용하여 구성하였다. 환경조건은 열관류율을 측정할 수 있는 측정챔버 내에서의 상황에 국한 된 것이기 때문에 시뮬레이션 결과값 역시 이와 동일한 조건을 주었다. 따라서 시뮬레이션에서 산출할 수 있는 SHGC(Solar Heat Gain Coefficient)값 등의 다른 산출요소는 제외하였으며 U-factor값, 즉 열관류율(=1/열저항)값만을 채택하여 실측값과 비교·분석을 실시하였다.

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 단열성능

실험 및 시뮬레이션 결과는 표 3에 각 개폐방식별로 열관류율(U-factor) 형식으로 나타내었다. 또한 개폐방식별 단열성능 판단을 위해 추가적으로 평균값을 표시하였다.

표 3. 개폐방식에 따른 단열성능의 결과

개폐방식	시료	Test, U factor (W/m <sup>2</sup> K)		향상치	Sim, U-factor (W/m <sup>2</sup> K)		향상치
		개별	평균		개별	평균	
T/T	A	3.257	3.043	2.3% 증가	2.951	2.932	25.6% 증가
	E	2.775			2.788		
	I	3.194			2.944		
	L	2.944			3.044		
L/S	G	3.351	3.077	1.1% 증가	4.213	3.652	7.3% 증가
	H	2.900			3.440		
	J	3.068			3.410		
	K	2.989			3.545		
SL	B	2.871	3.113	기준, 0%	3.600	3.940	기준, 0%
	C	2.809			3.622		
	D	2.775			3.481		
	F	3.996			5.056		

T/T > L/S > SL의 순으로 시스템 창호(T/T, L/S)가 SL 방식에 비해 단열성능이 우수한 것으로 나타났다. 이는 T/T 방식이 가스켓을 이용해 기밀한 밀폐가 가능한 것에 의한 영향이라 유추할 수 있다. L/S 방식 및 SL 방식의 창호는 개폐를 위해서 필요한 하부 롤러 및 레일부가 뜬구조로 되어 있기 때문에 T/T 방식에 비하여 상대적으로 단열성능이 약한 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 시료의 측정된 단열성능 결과값으로 판단할 때 SL(미서기)방식에 비해 L/S 방식은 1.1%, T/T 방식은 2.3%가량 단열성능이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 단, 유리구성과 프레임의 폭 및 구조 등에 대한 세부적인 분류 없이 각 개폐방식에 대한 성능 결과값으로 평가한 것이기 때문에 개폐방식별 대표적인 성능차로 간주하는 것은 곤란하다.

반면 시뮬레이션을 통한 단열성능은 SL 개폐방식을 기준으로 할 때에 비하여 L/S 방식은 약 7.3%, T/T 방식은 약 25.6%로 실측시험에 비하여 개폐방식에 따른 큰 성능 변화 양상이 확인되었다.

이를 통해 각 개폐방식별 시뮬레이션을 통한 단열성능과 실측성능 결과값 간에 차이가 크게 존재하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.2 기밀성능과의 상관성 분석

개폐방식에 따른 단열성능의 실측값 및 시뮬레이션 값과 기밀성능과의 관계를 분석하였다.

표 4는 개폐방식의 실측 및 시뮬레이션 값과 기밀성능과의 관계를 나타낸 것이다.

각 개폐방식별로 기밀성능(통기량)을 확인한 결과 T/T 방식의 기밀성능 평균값이  $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 로 나타나 공기의 유동이 거의 발생하지 않는 수준이며 L/S 방식은  $1.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ , SL 방식은  $2.1 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ 로 나타났다.

T/T > L/S > SL의 순으로 각각 약 40% 가량의 기밀성능 차이를 보이고 있다.

T/T 방식은 실측값과 시뮬레이션 값과의 차이 평균이 5.3%로서 일반적으로 인정되는 시뮬레이션 산출값 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 상관분석 결과 시뮬레이션에 의한 단열성능(Ut)과 기밀성능(Q)간의 상관계수가 약 0.48로 나타나 두 지표간의 관계로 인한 영향성은 약한 것으로 나타났다.

L/S 개폐방식의 경우 단열성능의 실측값과 시뮬레이션값의 오차가 T/T 방식에 비하여 큰 폭으로 증가하여 약 15.7%가량 높게 나타난 것을 볼 수 있다. Us와 Q간의 상관계수는 0.54 가량으로 나타났다.

SL 개폐방식은 Ut와 Us 간의 오차가 가장 큰 약 21.0%가량을 나타내었다. SL 방식의 Us와 Q간의 상관계수는 0.69로 나타나 가장 상관성이 높은 것으로 나타났다.

표 4. 개폐방식의 실측 및 시뮬레이션값과 기밀성능과의 관계

개폐방식	시료	Us (W/m <sup>2</sup> K)	Ut (W/m <sup>2</sup> K)	Q (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·hr)	(Us-Ut) 오차 (%)	오차평균 값 (%)
T/T	A	2.951	3.257	0.00	9.4	5.3
	E	2.788	2.775	0.01	0.5	
	I	2.944	3.194	0.88	7.8	
	L	3.044	2.944	0.49	3.4	
L/S	G	4.213	3.351	1.50	20.5	15.7
	H	3.440	2.900	0.94	15.7	
	J	3.410	3.068	1.46	10.0	
	K	3.545	2.989	0.97	15.7	
SL	B	3.600	2.871	1.21	20.2	21.0
	C	3.622	2.809	1.73	22.5	
	D	3.481	2.775	2.51	20.3	
	F	5.056	3.996	3.00	21.0	

Us : U-factor, result from Simulation

Ut : U-factor, result from Test

Q : 압력차 10Pa에서의 단위면적, 시간당 통기량

그림 2에서 보면 T/T 방식의 경우 시료별로 기밀성능의 차이가 나타났지만 단열성능값이 거의 유사하게  $3 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$  근처에 나타나 단열성능과 기밀성능 사이의 큰 연관성은 없는 것으로 보인다.

이는 T/T 방식의 경우 창호 자체의 열적 특성만이 시뮬레이션 결과에 반영된 것으로 판단할 수 있다.

그림 3과 4를 살펴보면 L/S, SL 방식의 경우 Ut와 Us의 변화양상 및 단열성능 평가값이 유사한 패턴을 나타내고 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 양상은 두 값 사이에 일정 변수로 인한 결과값 차이가 발생한다는 것을 유추할 수 있다.

즉, 시뮬레이션과 실측을 통한 창호의 단열성능값 간의 차이 발생에 영향을 끼치는 주된 원인은 창호의 통기량이라 판단할 수 있다.

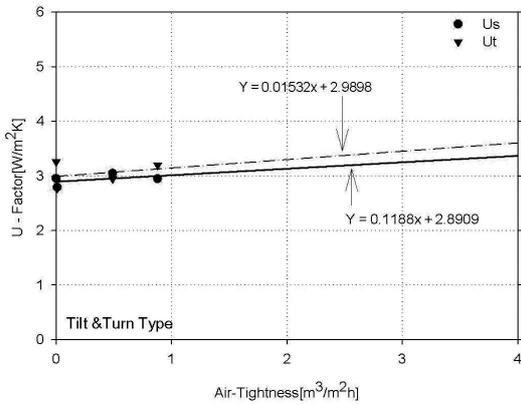


그림 118. T/T 개폐방식의 단열성능과 기밀성과의 상관관계

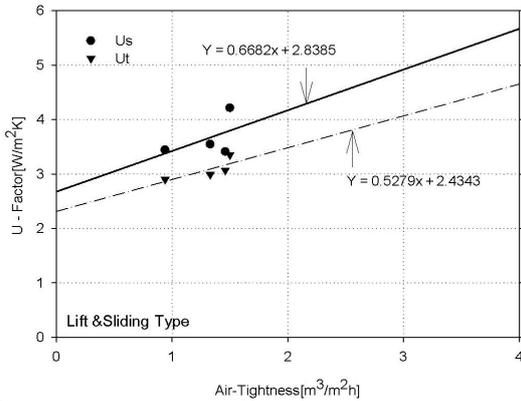


그림 119. L/S 방식의 단열성능과 기밀성과의 상관관계

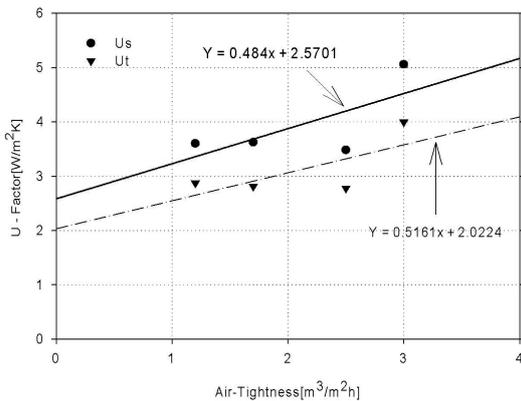


그림 120. SL 개폐방식의 단열성능과 기밀성과의 상관관계

개폐방식에 따른 실측값과 시뮬레이션값의 차이가 현격하게 증가하는 이유는 시뮬레이션 결과값이 창호 개폐면의 간극을 통해 발생하는 공기 유동을 통한 열의 유동량을 반영하지 못했기 때문이라 판단된다.

이러한 결과는 창호의 기밀성능이 시뮬레이션을 이용한 단열성능평가에 있어서 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다고 볼 수 있다

### 4.3 보정치 산출

각 개폐방식별로 시뮬레이션값과 측정 결과값이 다음과 같이 T/T, L/S, SL 개폐방식이 각각 5.3%, 15.7%, 21.0%로 나타났다. 특히 L/S와 SL 방식은 15%이상의 큰 오차율을 보였다.

오차에 대한 보정을 목적으로 하여 각 개폐방식별로 시뮬레이션과 기밀성능과의 상관성을 바탕으로 하여 회귀분석을 실시하였고 다음 표 5와 같이 보정식을 도출하였다.

표 5. 개폐방식별 시뮬레이션 보정치(Ur)

개폐방식	변수		보정식
	Us (W/m²K)	기밀성능평균값 Qa(m³/m²hr)	
T/T		0.35	$U_r = 0.39 + 0.90U_s + 0.05Q_a$
L/S	대상시료	1.22	$U_r = 1.46 + 0.34U_s + 0.30Q_a$
SL		2.11	$U_r = 0.01 + 0.78U_s + 0.01Q_a$

위의 보정식에 각 개폐방식별 시뮬레이션 결과의 평균값을 대입하여 결과를 살펴본 결과 오차율이 표 6과 같이 실측값과의 오차범위가 축소된 것을 확인할 수 있다.

L/S 방식은 2.5%, SL 방식은 1.0%로 Ut와 Us 간의 오차가 현격하게 감소한 것을 확인할 수 있다. 하지만 T/T 방식의 경우 오차 비율이 5.4%로 거의 변화가 발생하지 않았다. 이는 기밀성능에 대한 단열성능 상관성이 상대적으로 다른 방식에 비해 적었기 때문이라 판단된다.

특히 상관성이 가장 높게 나타난 SL 방식의 경우 거의 동일한 단열성능으로 시뮬레이션 값을 보정할 수 있는 것으로 나타났다.

표 6. 각 개폐방식별 시뮬레이션 보정후 결과값 비교

개폐방식	시료	U factor (W/m <sup>2</sup> K)			오차[%]	
		Us	Ut	Ur	Ut-Ur	평균
T/T	A	2.951	3.257	3.060	6.0	5.4
	E	2.788	2.775	2.914	4.8	
	I	2.944	3.194	3.053	4.4	
	L	3.044	2.944	3.144	6.4	
L/S	G	4.213	3.351	3.270	2.4	2.5
	H	3.440	2.900	3.004	3.5	
	J	3.410	3.068	2.994	2.4	
	K	3.545	2.989	3.040	1.7	
SL	B	3.600	2.871	2.847	0.8	1.0
	C	3.622	2.809	2.864	1.9	
	D	3.481	2.775	2.754	0.8	
	F	5.056	3.996	3.986	0.2	

### 5. 결 론

본 연구에서는 창호의 단열성능 평가용 시뮬레이션 프로그램에 대하여 실측시험과의 상이성을 검토하고 문제점을 확인, 분석하여 그에 대한 개선방향 제시하고자 하였다. 사용된 방법은 시뮬레이션과 실측시험의 결과값 차이에 큰 영향을 미칠 수 있는 개폐방식별로 창을 분류하여 시뮬레이션 및 단열, 기밀성능을 실측하였고 각 결과값의 상관성을 분석하여 시뮬레이션 프로그램에 적용할 수 있는 개폐방식별 시뮬레이션 보정치 산출을 최종 목표로 삼았다.

이상의 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서 채택된 국내생산 선정 창호에 대하여 개폐방식별로 분류하여 열성능시뮬레이션과 단열성능에 대한 실측값을 비교한 결과 각 개폐방식별로 약 5.3%에서 21.0%의 큰 오차범위를 형성하였다.
- (2) (1)의 결론은 바탕으로 하여 시뮬레이션 결과값과 기밀성능의 상관성을 도출 후 그 결과를 이용하여 각 개폐방식별로 보정식을 도출하였다. 시뮬레이션값을 보정식에 대입한 결과 실측값과의 오차가 T/T, L/S, SL 개폐방식에서 각각 5.4%, 2.5%, 1.0%로 나타나 오차범위가 축소되었다.

국내 창호의 단열성능 평가에 적용이 가능한 타당성 검토 대상이 된 프로그램(Therm, Window)은 국내 창호의 개폐방식에 대부분 채용되어 있는 Sliding 방식, 즉 하부레일구조(기밀성능취약)를 가진 창호의 시뮬레이션 평가시에 측정시험값과 일정범위 이상의 오차를 보이고 있다. 이러한 기밀성능에 의한 시뮬레이션값의 오차부분에 대하여 각 개폐방식별로 보정값을 사용한다면 보다 실측값과 유사한 시뮬레이션 값을 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

### 후 기

본 연구는 대상시료 수가 적어 창호 전체의 일반적인 특성을 정확하게 충족시키지 못한 부분이 많다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 향후 대상 창호 시료의 수를 증가시켜 본 연구 결과에서 도출된 보정식을 보완시킬 수 있는 데이터 축적 작업이 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. ASHRAE, ASHRAE Fundamental Chapter 2 9 FENESTRATION, ASHRAE, 1997
2. Lawrence Berkeley National Laboratory, WINDOW 4.1 Program Description, Lawrence Berkeley National Laboratory, 1994
3. Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000, THERM 2.1 Program Description, Lawrence Berkeley National Laboratory
4. Stephen Selkowitz, Lisa Heschong, Residential Window, A Guide to New Technologies and Energy Performance, John Carmody, 1996, W. W.Norton & Company
5. U. Larsson, Thermal analysis of super insulated windows numerical and experimental investigations, Energy and Buildings 29, pp.121 - 128, 1999
6. 한국표준협회, 1998, KS F 2278 “창호의 단열

- 성 시험방법”
7. 한국표준협회, 1998, *KS F 2292 “창호의 기밀성 시험방법”*
  8. 심정일 외, 창문의 열성능 개선에 관한 연구, 대한 건축학회 학술발표논문집 제 21권 2호 2001. 10
  9. 이영근 외, 건축부재 창호의 열관류율에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집, 5권 1호, p p.127-134, 1989
  10. 한국에너지기술연구원, 건물외피의 단열기술 개발연구(I), 연구보고서, *KE-87-19*.
  11. 이윤규 외, 구성재 조합에 따른 창호의 열성능에 관한 연구, 대한 건축학회 논문집, 22권 7호, pp.215-222, 2006. 7