실측 실험을 통한 단열문의 열성능 평가

장철웅*, 김치훈**, 안병립**, 홍원화***

*한국에너지기술연구원(cyjang@kier.re.kr)
**경북대학교 대학원 석사과정(kchiya@kier.re.kr)
**경북대학교 대학원 석사과정(ahnbr@kier.re.kr)
***경북대학교 건축공학부 부교수(hongwh@knu.ac.kr)

Thermal Performance Assessment of Insulated door by experiment.

Jang, Cheol-Yong* Kim, Chi-Hoon** Ahn, Byung-Lip** Hong, Won-Hwa***

*Building Energy Research Center, KIER(cyjang@kier.re.kr)
**Dept. of Architectural Engineering Kungpook University(kchiya@kier.re.kr),
**Dept. of Architectural Engineering Kungpook University(ahnbr@kier.re.kr),
***Prof, Architectural Engineering Kungpook University(hongwh@knu.ac.kr)

Abstract

Currently, Exterior wall's U-value about building envelope is $0.36 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Central Region), but window's one is $2.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ according to air gap of glazing, filling gas, coating and type of windows. The door's one is $1.6 \sim 5.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ depending on material and configuration of door. As such, energy loss per unit of door is considerably larger like windows. The door for the recognition was relatively low because energy loss through the door is relatively small compared to window area.

In this paper, thermal performance was analyzed through simulation targeting the door which has thermal break that can improve the insulation performance and doesn't have one.

As a results of simulations, case1 was calculated as the average of $1.63 \text{ w/m}^2\text{k}$ and case 2 was calculated as the average of $4.14 \text{ w/m}^2\text{k}$. The thermal performance of door depends on the type and condition of insulations. As a results of final simulations, Case1 was calculated as $1.06 \text{ w/m}^2\text{k}$ and Case2 was calculated as $1.27 \text{ w/m}^2\text{k}$. As a results of the experiments, thermal performance of case 1 was measured as $1.28 \text{ w/m}^2\text{k}$. Error between experiments and simulations is considered problems encountered when creating the samples. The effect of door frame on the overall thermal performance is slight because it's a small proportion of the door frame.

Keywords : 문(Insulation Door), 시뮬레이션(Therm), 단열성능(Insulation Performance)

기 호 설 명

R	: 열 관류 저항($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
A	: 전열 개구 면적 (m^2)
U	: 열관류율 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)
θ_{Hh}	: 가열 상자내 평균 공기 온도 (K)
θ_{Ga}	: 저온실내 평균 공기 온도 (K)
Q_H	: 가열 장치 공급 열량 (W)
Q_F	: 기류 교환 장치 공급 열량 (W)
Q_I	: 교정 열량 (W)
ΔR	: 표면열전달저항 보정값 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)

1. 서 론

2009년 9월, 지식경제부고시 제 2009-202호 에너지이용 합리화법 제 22조 및 제 23조에 따라 고효율에너지기자재 보급촉진에 관한 규정이 개정, 고시 되면서 고기밀성 단열문이 추가되었다.

고효율에너지기자재 인증제도란, 고효율 에너지기자재의 보급을 활성화하기 위하여 일정기준 이상의 제품에 대하여 정부가 인증하는 에너지효율보증제도로써, 1996년 12월에 처음 실시되었다. 고효율에너지기자재로 인정받으면 저리의 자금융자, 공공건물 및 50세대 이상 공동주택 신.증축때 우선 구매 등의 지원혜택을 받게 된다.

2011년 2월 1일부터 시행예정인 ‘건축물의 설비 기준 등에 관한 규칙 국토해양부령 제 306호’를 보면, 건물외피에 대한 지역별 열관류율은 외벽이 $0.36 \sim 0.58 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 으로, 개정전에 비해 약 20% 정도 향상 된 것으로 기존 대비 상당히 강화되었다. 또한 ‘건축물의 에너지절약설계기준 국토해양부 고시 제 2010-371호’의 창 및 문의 단열성능 기준을 보면, 창의 열관류율은 유리의 공기층 두께, 충전가스 및 코팅, 창의 종류에 따라 $1.2 \sim 6.6 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 이다.

문의 경우, 문의 재질과 구성에 따라 $1.6 \sim$

$5.5 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 이다. 이는 문을 통한 에너지 손실량도 외벽에 비해 상당히 크다고 할 수 있다. 다만, 단독주택 및 공동주택에서 세대 현관문이 차지하는 면적이 창이 차지하는 면적과 비교하였을 때, 에너지 손실이 상대적으로 크지 않기 때문에 문을 통한 열손실에 대한 인식이 상대적으로 미약하였다.

따라서 본 논문에서는 문의 단열성능을 향상시킬 수 있는 방법 중 하나인 열교차단재를 설치한 단열문과 열교차단재를 설치하지 않은 일반문을 대상으로 시뮬레이션을 통해 열성능을 비교 분석을 하였으며, 시뮬레이션 결과 중 열성능이 우수한 열교차단재가 적용된 단열문 시료를 열성능 측정 챔버를 이용하여 실측평가를 실시하였다.

2. 단열문(Insulation Door)

국내 단열문에 대한 성능 및 고기밀성 단열문 기준은 ‘지식경제부고시 제2010-223호’와 ‘국토해양부 고시 제2010-371호’에 따라 다음 표 1, 2와 같다.

표 1. 고효율에너지기자재(단열문)-지경부고시

열관류율 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$)	KS F 2297 규정에 의한 열관류율이 $1.8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 이하
--	--

표 2. 에너지절약설계기준-국토부고시

창 및 문의 종류 (W/m² · K)		금속재		플라스틱 또는 목재
		열교 차단재 미적용	열교 차단재 적용	
일반문	단열재 20mm 미만	2.7	2.6	2.4
	단열재 20mm 이상	1.8	1.7	1.6
유리문	단창	유리비율에 따라 단열성능 분류 (2.6 ~ 5.5)		
	복층			
	방풍 구조문	2.4		

여기서 열교차단재라 함은, 창호 및 문의 금속프레임 외부 및 내부 사이에 설치되는 폴리염화비닐 등 단열성을 가진 재료로서 외부로의 열흐름을 차단할 수 있는 재료를 말한다.

일반적으로 문은 금속재, 목재, 플라스틱 재질로 구분되며, 금속재의 경우 열교차단재의 여부에 따라 구분하기도 한다.

일반문의 경우에는 단열두께가 20mm를 기준으로 하고 있으며 유리문의 경우, 단창유리나 복층유리의 점유면적이 50%를 기준으로 하고 있다.

3. 시뮬레이션 개요 및 평가 분석

3.1 시뮬레이션 개요

THERM은 현재 일반적으로 창호 및 문의 단열성능평가가 가능한 프로그램으로써 미국 LBNL에서 개발된 THERM은 미국의 국립창호 인증위원회(NFRC) 및 미국 환경성(EPA)에서 주로 창호에 대한 인증 평가시 이용되고 있다. THERM 프로그램은 유한요소법(finite-element method)을 이용해 창호, 벽, 지붕과 같은 건물구성요소와 그 외 열교현상과 관련한 건물구성요소의 2차원적인 열전도 분석이 가능하다.

3.2 시뮬레이션 모델링

시뮬레이션 모델링은 열교차단재가 적용된 Case 1과 적용되지 않은 Case 2의 단열문 도면을 토대로 실시 하였으며, 열교차단재 적용에 따른 단면 및 형상이 바뀌기 때문에 단순 열교차단재 적용 여부에 따른 비교가 아닌, 시료 각각의 요소를 분석하고 통합하였다.

시뮬레이션에 사용된 내·외부의 온도 및 대류열전달 계수는 KS 규격에 규정된 값을 사용하였으며, 특이한 점은 Case 1은 문짝 부분 단열재를 우레탄폼, Case 2는 글라스울을 사용 하였으며, 문틀의 경우는 Case 1은 글라스울, Case 2는 우레탄폼을 사용하

였다.

적용한 부위별 물성치를 정리 하면 다음과 같다.

표 3. 물성치

종류	열전도율(W/mK)
Steel	50
Gasket(EPDM)	0.25
Thermal Break	0.12
Polyurethane Foam	0.05
Glass Wool	0.038

3.3 문틀 열성능 분석

아래의 그림은 Case 1과 Case 2의 부위별 열적 흐름과 열관류율을 측정한 것이다. Head는 단열문 프레임의 상단부, Sill은 단열문 프레임의 하단부, L,R-jamb는 좌우 프레임을 나타내는 것이다.

	Case 1 (열교차단재적용)	Case 2 (열교차단재미적용)
Head	1.62 W/m²K	4.24 W/m²K
L-jamb	1.64 W/m²K	3.45 W/m²K
R-jamb	1.64 W/m²K	4.72 W/m²K
Sill	1.62 W/m²K	4.24 W/m²K

그림 1. 문틀 부위별 열적 흐름

부위별 열관류율을 산출한 결과 Case 1의

경우 평균 $1.64 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, Case 2의 경우 $4.14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로써 단면형상을 고려하더라도, 열교차단재가 열관류율에 미치는 영향이 상당히 큰 것으로 나타났다.

3.4 문짝

문짝의 광판은 Case 각각 0.8mm이며, 문짝의 두께는 Case 1은 45mm, Case 2는 40mm이다. 내부 단열재의 경우 Case 1은 폴리우레탄폼, Case 2는 글라스울을 충전하였다.

문짝내부에 단열재가 없는 경우(공기층), 법적 기준이 되는 단열재 두께 20mm, 단열재를 밀실하게 충전한 경우를 비교하여 보았다.

표 4. 충전종류에 따른 문짝 열성능

충진 종류	Case 1	Case 2
공기	$2.89 \text{ W/m}^2\text{K}$ (문짝 45mm)	$2.86 \text{ W/m}^2\text{K}$ (문짝 40mm)
단열재 (20mm)	$1.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ (우레탄 폼)	$1.12 \text{ W/m}^2\text{K}$ (글라스울)
밀실한 단열재 충전	$0.97 \text{ W/m}^2\text{K}$ (우레탄 폼)	$0.85 \text{ W/m}^2\text{K}$ (글라스울)

문짝의 경우 문틀에 비해 상대적으로 근소한 차이를 보이는 것으로 나타났으며, 각각의 경우를 보면, 공기충진의 경우 두께가 45mm인 Case 1보다 40mm인 Case 2의 경우가 근소한 차이로 우수했다. 이는 대류공간 폭의 감소로 인한 결과로 사료된다.

단열재 충전에 따른 영향을 계산한 결과, 문짝 두께가 45mm인 Case 1에 비해 5mm 작은 Case 2의 경우, 단열성능이 약간 우수한 것으로 측정되었다. 이는, 문짝 내부 단열재의 두께보다는, 단열재의 종류 및 충전상태에 영향을 많이 받는 것을 확인 할 수 있었다.

3.5 면적비

아래의 표 5는 문틀이 차지하고 있는 면적을 나타내었다.

표 5. 문전체 대비 문틀 면적비

	문틀(m^2)	문짝(m^2)	전체면적대비 문틀면적비
Case 1	0.27	1.83	12.9%
Case 2	0.28	1.82	13.3%

문틀이 차지하는 면적이 Case 1의 경우 12.9%, Case 2의 경우 13.3%로 나타났다.

3.6 최종 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 각각의 부위별 열성능을 비교 한 결과, 문틀에서 열성능 차이는 확연히 확인할 수 있었으며, 문짝의 경우 단열재 충전 상태에 따라 차이는 보였지만, 문틀에 비해 비교적 적은 차이를 보였다.

아래의 표는 최종 열성능을 평가 한 것이다.

표 6. 최종 열성능

	Case 1	Case 2
열과류율 ($\text{W/m}^2\text{K}$)	1.06	1.18

문틀에 상당한 열성능 차이에도 불구하고 최종 결과에서 큰 차이를 보이지 않는 것으로 확인되었다.

4. 단열문의 열성능 측정

시뮬레이션 결과 열성능이 우수한 열교차단재가 적용된 Case 1의 제품을 가지고 열관류율 측정을 실시하였다.

4.1 단열성능 측정 장치 및 방법

단열성능 실험장치는 KS F 2277 규격을 참조하여 설계하였으며, 본 장치는 Cooling AHU, 저온실, 가열실, 항온실로 구성되어 있으며, 가열실 내부기류 교반장치, 저온실 냉풍취출장치, 온도측정장치, 전력측정장치 등을 갖추고 있다.

문의 열관류율 측정 방법은 KS F 2277 "건축용 구성재의 단열성능 측정방법 - 교정열상자법 및 보호 열상자법"에 따라 진행된다.

hangon실 및 저온실의 기류 조건에 의한 표면 열저항 값을 파악하기 위한 실험과 챔버내에서 손실되는 열량 값을 파악하기 위한 열량 보정 실험이 있고, 최종적으로 실측대상 창호 및 단열문을 설치하여 열관류율을 측정하는 실험으로 나누어진다.

그림 2. 열관류율 측정 장치 및 단열문 설치 모습

열관류율 측정을 위하여 크기 1,000mm × 2,100mm 규격의 시험체를 준비하였으며 시료부착을 위하여 시험체 설치틀을 만들어 저온실과 가열실 사이의 시험장치 개구부에 기밀하게 설치하였다.

hangon실, 가열실 및 저온실의 목표 설정온도는 표 7과 같다.

표 7. 온도 설정

저온실	가열실	hangon실
0℃	20℃	20℃

온도측정은 가열실 공기, hangon실 공기, 저온실 공기에 대해서 수행하였다. 가열실 공기 온도 및 저온실 공기온도의 측정위치는 동일면 9점으로 하였다. 또한 hangon실에는 9점에서 온도측정을 하였다.

4.2 단열성능 측정 결과

실제 실험을 통하여 얻은 인자들을 이용하

여 단열문의 열관류율을 계산하기 위한 식은 다음과 같다.

$$R = \frac{(Q_{ha} - Q_{ca}) \cdot A}{Q_H + Q_F - Q_I} + \Delta R = \frac{1}{U} \quad (1)$$

위의 식을 통해 Case 1의 열관류율을 측정 한 결과, 열관류율은 1.28 W/m² · K로 측정되었다.

4.3 문 절단을 통한 내부 확인

실측 후 시료의 단열재 충전상태 및 단면을 확인하기위해 절단을 하였다. 다음 사진은 절단면의 모습이다.

그림 3. 시료 절단 모습

글라스울을 사용한 문틀의 경우 밀실한 단열상태를 보였으며, 폴리우레탄폼을 사용한 문짝은 단열재 충전 상태가 양호하지 못한 것을 확인하였다.

5. 시뮬레이션과 실측 결과 비교

시뮬레이션 결과 1.06 W/m² · K로 계산되었으며, 실측결과는 1.28 W/m² · K로 측정되

었다.

실측과 시뮬레이션 결과의 오차는 실제 측정 시료 문짝의 단열재 충전 상태에 따른 결과로 사료된다. 시뮬레이션의 경우 단열재를 밀실한 충전상태로 시뮬레이션을 진행하였으며, 실제 측정한 시제품의 경우 단면을 확인한 결과 밀실하지 못한 것을 확인할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구는 열교차단재 적용에 따른 단열문의 열성능을 비교 분석하기 위해, 열교차단재를 적용한 Case 1 과 열교차단재를 적용하지 않은 Case 2 의 경우를 토대로 시뮬레이션과 실측 평가를 진행하였다.

최종 결론은 다음과 같다.

- (1) 시뮬레이션 결과 열교차단재를 적용한 Case 1 문틀의 경우, 평균 $1.63 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 계산되었으며, 열교차단재를 적용하지 않은 Case 2 문틀은 평균 $4.14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로써 열교차단재가 문틀에 미치는 영향이 Case 1와 Case 2, 두 경우를 비교하였을 때 약 60% 차이가 났다.
- (2) 문짝 시뮬레이션의 경우, 내부에 공기층, 단열재 20mm, 밀실한 단열재 충전으로 분류하여 측정한 결과, 단열재의 종류 및 충전 상태에 따라 열성능 차이가 났다.
- (3) 최종 시뮬레이션 결과 Case 1은 $1.06 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, Case 2는 $1.27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 계산되었으며, 시뮬레이션 결과 열성능이 우수한 Case 1의 시제품을 단열성능을 측정한 결과, 열관류율은 $1.28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 측정되었다.
- (4) 실측과 시뮬레이션 결과의 오차는 시료 내부의 단면을 확인한 결과, 문짝 단열재 충전 상태에 따른 결과로 사료되며, 문짝 내부에 단열재 충전할 때 Foam 형태의

단열재 보다 Glasswool타입의 단열재가 시공성이나 단열성 측면에서도 유리할 것으로 사료된다.

- (5) 문 전체에서 문틀이 차지하는 비율이 약 13% 내외로써, 열교차단재를 적용한 문틀의 우수한 열적성능이 최종 결과에 미치는 영향이 크지 않음을 확인할 수 있었다.

본 연구는 열교차단재 적용에 따른 단열문의 열성능을 비교 분석하였으며, 추후 연구에서는 열교차단재의 적용에 따른 결로 및 건물에 미치는 영향 분석을 진행 할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 장철용 외, 『초단열 슈퍼윈도우 시스템의 최적설계에 관한 연구』, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 333~338, 2006.4
2. 장철용 외, 『초단열 슈퍼윈도우의 단열성능 실측과 시뮬레이션 비교 분석』, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp. 231~235, 2009.11
3. 이경희, 건축환경계획, 문운당, 2008.
4. 김치훈 외, 『창호 및 벽체의 단열성능에 따른 건물에너지효율등급 평가 연구』, 대한설비공학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.121
5. 차재호외, 에너지총설 下, 한국에너지정보센터, 2003.
6. LBNL(2006), WINDOW 5.2 / THERM 5.2 NFRC Simulation Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory