주거건물 단열수준에 따른 발열유리의 난방에너지 성능 평가

이도형¹ · 윤종호^{2†} · 이경우³ · 서문구³

¹(주)네드 차세대 에너지 디자인 연구소, 팀장

²한밭대학교 건축공학과, 교수

³한밭대학교 건축공학과, 석사과정

Heating Energy Performance of Heated Glass According to Insulation Level of the Residential Building

Lee Do-Hyung¹ · Yoon Jong-Ho^{2†} · Lee Kyung-Woo³ · Seo Mun-Goo³

¹Manager, NED

²Professor, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University

³MS Candidate, Department of Architectural Engineering, Hanbat National University

[†]Corresponding author: jhyoon@hanbat.ac.kr

Abstract

Heat losses through exterior windows and condensation on their surface can cause thermal discomfort inside a building. In addition, the use of low energy-efficient windows tends to increase thermal heat losses, and thus building energy consumption. In this study, we present the performance evaluation of heated glass in a residential building when the system is applied to a building and used as a heating system. In this study, a simulation-based analysis was conducted to evaluate the heating energy consumption based on the insulation standards with different areas and types of heating systems in a residential building. The results of this study reveal that the heated glass used a relatively higher heating energy consumption when compared to those of the other two heating systems, including floor radiant heating and air-source heat pump systems. Although the heated glass exhibited the highest energy consumption, it is expected that the system can be used as an alternative to other systems, such as a floor radiating heating system. This is mainly because the heated glass includes high benefits of indoor thermal comfort and prevents the window surface from forming condensation. In terms of combinations of heating systems, a case that includes radiant floor and heated glass heating systems can be considered as the best option based on the study analysis because the traditionally preferred heating method in Korea is based on a radiant floor heating system.

Keywords: 발열유리(Heated glass), 투명전도막(Transparent conductive layer), 단열기준(Insulation standard), 난방에너지 소비량(Heating energy consumption), 주거건물(Residential Building)

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.4, pp.73-84, August 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.4.073>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 13 April 2021

Revised: 11 May 2021

Accepted: 17 May 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

기후변화로 1880년 이후 현재까지 지구의 평균기온은 꾸준히 상승해 오고 있으며, 기후변화에 대한 UN IPCC 보고서의 대응 시나리오별 예측에서는 2,000년도 이후 100년간 지구평균기온이 대응 시나리오에 따른 대처에 따라서 최저 1.0°C에서 최고 5.6°C까지 급속히 상승할 것으로 예측하고 있다. 이런 기후변화의 결과인 기상이변과 자연재해의 피해는 오늘날 우리가 해결해야 할 공통의 문제로 이슈 되고 있다¹⁾. 국내의 경우 그린 뉴딜 정책을 발표하며 기존 국가 온실가스 감축 목표 2020년 BAU 대비 30% 감축에서 2030년 BAU대비 37% 감축으로 수정하였고, 탈원전 선언 및 재생에너지 3020 계획 수립을 발표하였다. 건축 부분에서는 국내 건축물 에너지 절감 로드맵(2009년 녹색도시 건축물 활성화 방안)을 통해 주거용 건물과 비주거용 건물 모두다 2025년 제로에너지 의무화를 고시하고 있다. 일반적으로 건축물에서 창호를 통한 열 손실이 사무용 건물 부문에서는 15 ~ 35%를 차지하고 있고, 주거용 건물 부문에서는 30 ~ 45%를 차지하고 있으며, 창호를 통한 열 손실은 결국 건물 에너지사용의 증가를 초래하게 된다. 공동주택에서 창호의 열관류율이 난방 부하에 미치는 영향을 분석한 사례논문에서는 창면적비가 40%인 공동주택의 열관류율을 2.1에서 1.4로 낮출 경우 평균 약 7%정도 에너지 절감률이 있는 것으로 나타났다²⁾.

이러한 이유로 건축물의 에너지 절감을 위해선 창호에서 발생하는 열 손실을 줄이기 위한 대안이 필요하며, 본 연구에서는 주거 건물의 지역별 단열 기준 및 난방방식 종류에 따른 에너지 사용량을 비교 및 검토하여 발열 유리의 난방에너지 사용량에 관한 성능을 분석하고자 하였다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 주거 건물에 적용 가능한 난방방식을 바탕으로 발열유리의 난방에너지 성능을 비교분석하였다. 적용된 난방방식은 3 가지 조건으로 (1) 바닥복사난방, (2) 공기식난방시스템, (3) 발열유리를 통한 창호난방이다. 또한, 본 연구에서는 다양한 단열수준 조건을 고려하기 위해서 주거건물의 지역별 단열기준을 시뮬레이션에 적용하고, 각 조건에 대한 비교 분석을 진행하였다. 본 연구의 전체적인 흐름도는 Fig. 1과 같다.

Fig. 1 Research flow chart

2. 발열유리의 이론적 고찰

2.1 발열유리의 구성 및 작동원리

발열유리의 원리는 Fig. 2의 발열유리 구성에서 보여지는 것처럼 전기가 통전 가능한 투명한 저항체(금속)를 코팅한 전도성 유리에 전력을 공급하게 되면 유리의 온도가 높아지게 되고, 이때 발생한 열이 외기에 면한 유리의 Low-e 코팅으로 인해 외부로 나가지 못하고 실내로 유입되는 원리이다³⁾. 유리에 금속산화물을 코팅하기 위한 TCOs (Transparent Conductive Oxides)의 기술로는 FTO (Fluorine-doped Tin Oxide), ITO (Indium-Tin Oxide), ATO (Antimony doped Tin Oxide), ZnO 등과 같은 산화물 재료와 Ag (Silver), Au (Gold)와 같은 금속재료를 활용한 코팅 기술들이 있다⁴⁾. 각 코팅 기술들의 특징은 Table 1과 같다.

Fig. 2 Construction of heated glass

Table 1 Characteristics of different type of transparent conductive coating

Type of transparent conductive coating material	ITO	FTO	ZnO	Au lay.	Ag lay.
Coating thickness [mm]	≥ 20	≥ 20	≥ 20	≥ 6	≥ 6
Surface resistivity [Ω/sq]	≥ 8	≥ 8	≥ 8	≥ 5	≥ 1
Transmittance [%]	≥ 75	≥ 75	≥ 85	≥ 25	≥ 75
Abrasion resistance	Excellence	Excellence	Excellence	Good	
Chemical resistance	Good	Excellence	Normal	Normal	Normal
Thermal stability	Normal	Normal-Good	Normal	(Normal)	Good
Glass adhesion	Excellence	Excellence	Excellence	Good	Good
Preferred coating methods	Sputtering	CVD	Sputtering	Sputtering	Sputtering
Plate glass thickness	≥ 0.3	≥ 0.3	≥ 0.3	≥ 0.3	≥ 0.3
Maximum glass size	2.6	3.21*6	3.21*6	3.21*6	3.21*6
Smoothness of coated glass	Smooth	Rough	Smooth	Smooth	Smooth

산화 주석에 기반한 재료들과 은에 기반한 재료들은 전자 디스플레이 산업에 사용되고, 창호 산업에서는 복층 창호의 저방사 코팅으로써 사용된다. 시장에서는 이러한 두 가지 기술 모두 가치있는 기술이며, 그 중에서도 저방사 코팅 창호를 위한 불소가 첨가된 산화 주석 코팅은 합리적인 가격과 양이 많으며, 2.3 mm ~ 6 mm까지 다양한 건축 창호에 적용이 가능하다. 유리 코팅면에 전기적인 연결을 만들기 위해서는 모선(bus bar)을 사용하는데, 모선은 전기적 에너지를 전달하기 위해 PCB상에서 전도체와 같은 역할을 하는 전기 배선판이며, 동선 혹은 동판으로 구성되어 있다.

발열유리의 설치 사례를 보면 국외 사례에서 건축용으로 로이유리와 복층으로 구성 또는 접합하는 형식으로 사용되고 있으며⁴⁾, 소모전력은 결로방지용으로는 50 ~ 150 W/m², 쾌적용은 80 ~ 250 W/m², 주요 난방은 200 ~ 600 W/m², 결빙제거로 600 W/m² 이상으로 설계하고 있다.

2.2 법적 단열기준 고찰

국토교통부에서는 「녹색건축물 조성 지원법⁵⁾」에 근거한 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’에서 국내를 중부지역(제2017-881호, 고시, 2017. 12. 28.부터 중부1,2로 나누어 구분하고 있으며 아래), 남부지역, 제주지역으로 구분하여 지역에 따라 건축물의 부위별 열관류율 기준과 단열재 등급에 따른 두께 등을 고시하고 있다. Fig. 3은 2010년, 2013년, 2015년, 2017년의 지역에 따른 부위별 열관류율 기준과 강화된 정도를 나타낸 것이고 Fig. 4는 2010년도 대비 연도별 강화된 열관류율 기준을 백분율로 나타낸 그래프이다. 2010년의 경우 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’에 열관류율 관련 기준이 없어 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 [별표 4] 지역별 건축물부위의 열관류율표’를 참고하여 작성하였고 모든 기준은 공동주택일 경우 적용되는 기준을 사용하였다.

중부지역에서는 2010년 대비 2017년 기준에서 외기에 직접 면한 벽은 58.3%, 간접 면한 벽은 57.1% 강화되었고 창에서는 외기에 직접 면한 경우 57.1%, 간접 면한 경우 53.6% 강화되었다. 남부지역에서는 2010년 대비 2017년 기준에서 외기에 직접 면한 벽은 51.1%, 간접 면한 벽은 50.8% 강화되었고 창에서는 외기에 직접 면한 경우 50.0%, 간접 면한 경우 45.2% 강화되었다. 제주지역에서는 2010년 대비 2017년 기준에서 외기에 직접 면한 벽은 50.0%, 간접 면한 벽은 51.8% 강화되었고 창에서는 외기에 직접 면한 경우 48.4%, 간접 면한 경우 45.9% 강화되었다. 지역 중에서는 중부 지역의 연도별 열관류율 기준의 강화 비율이 가장 높았는데, 이는 상대적으로 외기온이 낮은 지역이기 때문에 다른 지역보다 더 단열을 강조한 것으로 보인다. 건물의 부위 중에서는 창보다는 벽의 연도별 열관류율 기준의 강화 비율이 높았는데, 이는 상대적으로 벽 보다는 창의 열관류율을 낮추는 기술의 한계로 인한 것으로 보인다.

Fig. 3 Thermal transmittance standard of building components in accordance with area

Fig. 4 Reinforced insulation standard rate

3. 주거건물에 적용한 발열유리의 난방에너지 성능 평가

3.1 시뮬레이션 개요

분석 대상 건물은 국토교통부의 2008년도 건축물의 에너지절약 설계기준에 따라 지어진 공동주택이다. 분석 대상 층은 기준층의 중심에 위치한 세대로 Fig. 5와 같이 구성되어 있고, 동적 건물에너지 해석 프로그램인 Esp-r을 활용하여 구현된 모델의 모습은 Fig. 6과 같다⁶⁻⁸⁾.

Fig. 5 Schematics of analyzed residential building

Fig. 6 The residential building modeled in Esp-r

분석은 남측에 위치한 발코니가 확장된 침실을 기준으로 수행하였다. 분석대상 실의 바닥면적은 16.10 m^2 , 창 면적은 5.21 m^2 이며, 순수히 난방 열원 공급에 대해서만 분석을 수행하기 위해 해당 실의 내부발열요소는 모두 제거하였다. 각 지역의 연도별 단열 기준에 따라 적용된 단열성능은 Table 2에 나타내고 있으며, Low limit은 현재 단열 기준보다 높게 설정하여 향후 상향된 기준을 예측하여 적용한 단열성능이다. 2008년과 2013년도의 침기횟수는 0.7회/hr로 설정하였다. Low limit의 침기횟수는 70% 효율을 가지는 배열회수 시스템이 가동된다는 가정하에 0.35회/hr로 설정하였다. 난방설정온도는 22°C 로 설정하고 적정 난방장치 용량을 산정하여 설정한 온도에 일정하게 제어되도록 하였다. 난방방식은 실의 공기에 직접 열원을 공급하는 공기식 난방 방식, 바닥에 온수나 증기를 등을 공급하여 복사열에 의해 실내를 난방하는 바닥 복사 난방, 창에서 전력 공급 시 유리의 온도가 높아지는 창호 난방 방식으로, 총 3가지의 난방 방식의 연도별 지역의 단열기준에 따른 난방방식별 차이를 분석하였다. Fig. 7은 난방 방식에 따른 열원의 공급위치를 나타낸 그림이다.

Table 2 Thermal transmittance of building components applied for insulation performance according to area insulation standards

		External Wall	Floor	Window
2008	Central area	0.392	0.624	2.692
	Southern area	0.491	0.624	2.692
	Jeju area	0.658	0.624	2.692
2013	Central area	0.225	0.624	1.376
	Southern area	0.293	0.624	1.684
	Jeju area	0.367	0.624	2.532
Low limit	Central area	0.094	0.092	0.708
	Southern area	0.094	0.092	0.708
	Jeju area	0.094	0.092	0.708

Unit : $\text{W/m}^2\cdot\text{K}$

Fig. 7 Position of the heat source supply according to the heating type

기상데이터는 위치 보간 방법으로 원하는 지역의 기상데이터를 제공하고 있는 Meeonorm 7을 활용하여 1981년 ~ 2010년의 ISO TRY 형식¹ 기상데이터를 적용하였다.

3.2 각 지역의 단열수준별 난방에너지 소비특성 분석

단열수준은 2008년, 2013년, Low limit 단열기준에 따라 분석을 수행하였다. Fig. 8 ~ Fig. 10은 각 지역의 연도별 단열기준에 따른 난방방식별 연간 난방에너지 사용량을 나타낸 것이다.

Fig. 8 Annual heating energy consumption according to insulation level and heating system (Central area)

Fig. 9 Annual heating energy consumption according to insulation level and heating system (Southern area)

1 TRY (Test Reference Year)에 포함되는 기상요소는 건구온도, 습구온도, 노점온도, 풍향, 풍속, 기압, 상대습도, 운량 및 구름종류 등이며 일사량 측정값은 포함되지 않는다. 시뮬레이션 프로그램 내부에서 자체적으로 일사량 데이터를 만들어서 사용한다. 해당 기간의 기상데이터 중 평균온도가 양극값 즉, 최대 최소온도를 포함하는 월을 차례로 제거하여 최종적으로 1개년이 남을 때까지 진행시키는 방식으로 결정된다.

Fig. 10 Annual heating energy consumption according to insulation level and heating system (Jeju area)

중부지역에서는 공기식 난방을 적용하였을 경우, 난방에너지 사용량 절감 측면에서는 2008년도 단열기준 대비 2013년도에 15.1%, Low limit 단열기준을 적용 시에는 79.1% 만큼 감소하는 것을 보였다. 바닥 복사 난방으로 설정하였을 경우에는 기준 년도인 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 19.7%, Low limit에는 79.4%만큼 난방에너지 사용량이 감소하는 것으로 보였다. 창호 난방을 적용하였을 경우 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 32.6%, Low limit에는 84.0%만큼 감소하는 것을 보이면서 창호 난방이 단열기준이 강화됨에 따라 가장 큰 감소율을 보였다. 난방에너지 사용량 측면에서는 2008년도에 창호 난방이 1,344.04 kWh/yr로 가장 큰 사용량을 나타냈지만 Low limit 단열수준을 적용하였을 경우에는 난방에너지 사용량이 208.97 kWh/yr를 나타내는 바닥 복사 난방과 비슷한 214.46 kWh/yr까지 감소하였다. 남부지역에서는 공기식 난방을 사용하였을 경우, 난방에너지 사용량 절감 측면에서 2008년도 단열기준 대비 2013년도에 22.7%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 89.3%만큼 감소하는 것을 보였다. 바닥 복사 난방으로 설정하였을 경우에는 기준 년도인 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 27.8%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 89.7%만큼 난방에너지 사용량이 감소하는 것을 나타냈다. 창호 난방을 적용하였을 경우에는 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 37.5%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 91.9%만큼 감소하는 것을 보이면서 창호 난방이 단열기준이 강화됨에 따라 가장 큰 감소율을 보였다. 난방에너지 사용량 측면에서는 2008년도에는 창호 난방이 888.83 kWh/yr로 가장 큰 사용량을 나타냈지만 Low limit 단열수준을 적용하였을 경우에는 난방에너지 사용량이 72.26 kWh/yr를 나타내는 바닥 복사 난방보다 낮은 71.97 kWh/yr까지 감소하였다. 제주지역에서는 공기식 난방을 사용하였을 경우, 난방에너지 사용량 절감 측면에서는 2008년도 단열기준 대비 2013년도에 15.4%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 86.7%만큼 감소하는 것을 보였다. 바닥 복사 난방으로 설정하였을 경우에는 기준 년도인 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 15.6%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 87.1%만큼 난방에너지 사용량이 감소하는 것을 나타냈다. 창호 난방을 적용하였을 시에는 2008년도 단열기준 대비 2013년도에는 17.6%, Low limit 단열기준을 적용할 경우 90.4%만큼 감소하는 것을 보이면서 창호 난방이 단열기준이 변화함에 따라 가장 큰 감

소율을 보였다. 난방에너지 사용량 측면에서는 2008년도에는 창호 난방이 642.18 kWh/yr로 가장 큰 사용량을 나타냈지만 Low limit 단열기준을 적용하였을 경우 바닥 난방에너지 사용량과 비슷한 61.65 kWh/yr까지 감소하였다.

전반적인 에너지사용량 측면에서는 창호 난방이 가장 높은 에너지사용량을 보였지만, 단열의 기준이 강화 될수록 난방방식에 따른 에너지사용량의 차이가 현저하게 줄어드는 경향을 보였다.

3.3 단열수준의 변화에 따른 적정 난방방식의 조합 분석

난방에너지의 절감과 실의 쾌적함을 위해서는 적정 난방방식을 선택하여 단일로 적용하거나 난방방식들을 조합하여 실을 운영하는 것이 중요하다. 또한 과도한 장치용량의 설계는 건물의 초기 설비투자비용의 증대라는 비용적 측면에서의 낭비를 초래하게 될 수 있다. 따라서 주거건물에 발열유리를 적용하기 위하여 난방방식과의 조합과 단일 난방방식과의 비교를 통하여 최적의 난방방식을 검토하였다. Fig. 11 ~ Fig. 13은 각 지역별 단열수준에 따라 난방방식별로 분석을 수행한 것이다.

모든 지역 및 단열수준에서 공기식 난방 방식을 단일로 적용하였을 경우가 연간 난방에너지 사용량이 가장 적은 것을 보였다. 난방방식의 조합만을 비교하기 위해 공기식 난방+창호 난방과 바닥 복사 난방+창호 난방을 비교하였을 시, 공기식 난방+창호 난방을 적용함이 난방에너지 사용량 측면에서 더 유리할 것으로 분석되었다. 하지만 제주 지역의 2008년 단열기준에서는 공기식 난방 방식이 바닥복사 난방 + 창호 난방 값보다 약 274.56 kWh/yr 낮았지만, Low limit 단열기준을 적용할 경우 그 차이가 15.37 kWh/yr로 대폭 낮아지고 다른 지역에서도 비슷한 경향을 보였다. 따라서 단열기준이 강화될수록 난방방식별 에너지사용량의 차이는 점차 줄어들 것으로 보인다.

Fig. 11 Annual heating energy consumption according to heating system (Central area)

Fig. 12 Annual heating energy consumption according to heating system (Southern area)

Fig. 13 Annual heating energy consumption according to heating system (Jeju area)

4. 결론

본 연구에서는 주거 건물의 지역별 단열기준 및 난방방식 종류에 따른 에너지사용량을 비교 및 검토를 하여 주거 건물에 적용한 발열유리의 난방에너지 성능 평가를 수행하였다.

- (1) 각 지역별 단열기준에서 2008년도와 2013년도까지는 창호 난방이 연간 가장 많은 난방에너지를 사용하는 것으로 나타났지만 Low limit 단열 및 기밀 수준에서는 바닥 복사 난방과 비슷한 에너지를 사용하며 단열기준이 강화될수록 창호 난방방식과 기존 난방방식(공기, 바닥 난방)의 에너지 사용량 차이가 줄어드는 것으로 분석되었다.
- (2) 난방 방식에 따라 비교 분석을 한 결과, 연간 난방에너지 사용량 측면에선 공기식 난방만을 적용함이 가

장 유리하겠지만, Low limit 단열수준에서는 난방 방식별로 연간 난방에너지 사용량의 차이가 크게 줄어드는 결과를 보였다. 따라서 앞으로 정부의 단열 기준이 점차 강화되면서 난방방식에 따른 에너지 사용량의 차이가 점차 줄어들 것이며, 실의 쾌적 측면에서 공기식 난방보다 우수한 바닥 복사 난방과 유리의 발열을 통해 창에 발생하는 결로를 방지하는 창호난방을 조합함이 적절할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 151, 2014.
2. Kim, K. A., Moon, H. J., and Yu, K. H., Prediction of Heating Energy Saving Rate on the Window Type-Focus on the Apartment House, Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 6, pp. 54-61, 2013.
3. Kurnitski, J., Jokisalo, J., Palonen, J., Jokiranta, K., and Seppänen, O., Efficiency of Electrically Heated Windows, Energy and Buildings, Vol. 36, No. 10, pp. 1003-1010, 2004.
4. Ollokiegi, E. A., Electric Heated Windows, Master Thesis in University of Gavle, 2013.
5. MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport), Green Buildings Construction Support Act, Korean Law Information Center, 2017.
6. Yoon, Y. S., Yoon, J. H., H, J. H., Hwang, W. J., Shin, J. G., Choi, W. K., and Mun, S. H., A Study on the Optimal Glazing Units in Apartment, Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 10, pp. 301-308, 2012.
7. Park, D. Y., Yoon, K. C., and Kim, K. S., A Comparative Study on Heating Energy Consumption of Multi-Family Apartment using EnergyPlus and eQUEST, Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, pp. 48-56, 2013.
8. Suh, H. S. and Kim, B. S., A Comparative Analysis of Energy Simulation Results and Actual Energy Consumption on Super High-rise Apartments, Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 4, pp. 34-40, 2011.