

노후 단독주택의 난방에너지 효율 개선을 위한 대안 선정 방법에 관한 연구

황석호[†]

경남대학교 건축학부, 부교수

Alternative Selection Method for Energy Efficiency Improvement of Old Detached House

Hwang Seok-Ho[†]

School of Architecture, Kyungnam University, Associate Professor

[†]Corresponding author: hwangsh@kyungnam.ac.kr

Abstract

More than 76% of the detached houses in Korea are over 20 years old. These old detached houses have poor energy efficiency. According to the 2017 Housing Census (Statistics Korea), more than 50% of low-income families live in detached houses. Therefore, the improvement of energy efficiency in old detached houses is needed from the viewpoint of energy welfare. The general method of building energy modelling for the verification of energy efficiency is based on the construction year data of "Building Design Criteria for Energy Saving" due to the cost and time involved in collecting the thermal performance data of buildings. There is poor accuracy with the deterioration of long-term aging of building materials. Also, the selection of alternatives for energy performance improvement is based on the items to be applied, not a performance improvement goal. It is difficult to calculate energy performance that reflects variations in various parameters with dynamic energy simulations. In this study, the influence of long-term aging is used to accurately predict the energy performance of old detached houses. The building energy modelling method is called ENERGY#, which is a static analysis method based on ISO13790. Energy performance is evaluated by a combination of input variables including building orientation, insulation of walls and roof, thermal performance of windows and window/wall ratio, and infiltration rate. Finally, this study provides a way to determine alternatives that meet energy performance improvement goals.

Keywords: 노후 단독주택(Old detached house), 에너지 성능(Energy efficiency), 경년변화(Aged degradation), 에너지샵(ENERGY#)

1. 서론

건축부문은 국내 전체 에너지 사용량의 약 24%를 차지하고, 그중 75%를 주거용 건축물에서 소비한다. 주거용 건축물의 에너지 소비량은 생활수준의 향상 등의 이유로 꾸준히 증가하고 있다. 이에 국내에서는 온실가스 감축 노력의 일환으로 에너지 절약 증장기 로



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.2, pp.45-55, April 2019
<https://doi.org/10.7836/kjes.2019.39.2.045>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 15 March 2019

Revised: 01 April 2019

Accepted: 16 April 2019

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.

드맵을 통해 신축 건축물에 대한 에너지 효율 향상을 점진적으로 유도하고 있다. 하지만, 전체 건축물에서 신축 건축물이 차지하는 비중이 크지 않기 때문에 효과적인 온실가스 감축을 위해서는 기존 건축물의 에너지 성능도 동시에 향상시키는 것이 중요하다. 단독주택으로 한정하여 보면 2017년 주택총조사에서 전국의 약 396만호의 단독주택 중에서 약 300만호인 76%가 2000년 이전에 건축되어진 노후화된 단독주택이다¹⁾. 신축 단독주택에 비해 노후 단독주택은 건설 당시의 단열기준이 낮을 뿐만 아니라, 건물의 노후화에 따른 성능저하가 추가적으로 발생하여 건설 당시보다 에너지 성능이 낮아져 에너지 소비가 더욱 늘어난다. 또한 국내 단독주택의 거주자 유형을 주택총조사 통계로 확인해 보면 저소득층의 거주 비율이 50%를 넘어 에너지 빈곤의 문제가 제기되고 있다. 이에 정부는 2007년부터 ‘저소득층 에너지 효율 개선사업’을 통해 점진적으로 저소득층 주택의 에너지 성능향상을 유도하는 복지 정책을 진행하고 있다. 아울러, 최근에는 구도심의 활성화 및 무분별한 재개발을 통한 자원의 낭비 및 사회적 비용의 증가를 막기 위해 도심재생에 관한 관심이 증가하고 있다. 사회, 문화, 경제, 환경적 관점에서 도시재생이 진행되어야 하지만, 건축물의 에너지 성능향상을 포함한 물리적인 시설개선도 필요하다. 이와 같이 여러 복합적인 필요성으로 인해 노후 단독주택의 에너지 효율 개선사업이 활발히 전개되어야 할 것이다. 이와 관련하여 Seo et al.²⁾은 건축물의 에너지절약 설계기준의 연도별 단열기준을 이용하여 부위별로 단열기준의 향상과 건물의 냉난방에너지와의 관계를 파악하였다. Kim et al.³⁾은 기존 단독주택의 에너지 성능개선을 위한 요소기술을 건축물, 설비, 대지로 나눠 구분하여 선정한 후 시뮬레이션을 이용하여 에너지 절감효과를 분석하였다. Jeong et al.⁴⁾은 가변난방도일법을 이용한 난방에너지소요량 평가 프로그램을 개발하고, 에너지복지사업 대상 주택의 개보수 현황을 바탕으로 에너지 개보수 요소에 따른 에너지 절감율을 계산하였다. 또한 Lee et al.⁵⁾은 동적시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus를 이용하여 저소득층 단독주택을 대상으로 건물의 향, 창호의 종류, 창면적비, 단열강화, 기밀보강, 보일러 효율개선을 단계적으로 적용하여 각 단계의 에너지 효율 개선효과를 분석하였다.

이러한 기존연구에서는 해석대상이 되는 주택의 기준모델을 결정한 다음, 기준모델의 열성능 조건을 비교대상으로 하여 에너지 성능 개선 방안들과 비교분석하는 방법을 사용하고 있다. 여기에서 기준모델의 열성능 조건은 대부분 건축년도에 해당하는 ‘건축물의 에너지절약설계기준’을 준용하며, 노후화로 인한 건축물의 성능저하는 반영하지 않는다. 또한 효율 개선의 대안은 개선 목표에 따라 결정되는 것이 아니라 에너지 성능개선 요소를 특정하여 선정된다. 이렇게 선정된 개선 대안들은 에너지 시뮬레이션을 통해 각각의 개선 효율을 상호 비교하여 최종 대안을 결정하는 방식으로 진행한다. 이러한 이유는 건물에너지 성능해석 방법으로 사용되는 동적시뮬레이션 프로그램들의 복잡한 입력과정과 결과분석 방법으로 인해 성능개선 요소들의 적용 범위에 따른 전체 에너지효율 개선의 영향을 광범위하고 복합적으로 해석하기가 어렵기 때문이다.

이에 본 연구에서는 노후 주택의 표준모델의 열성능 조건을 노후화에 의한 영향을 고려하여 설정하고, 건물 에너지 모델링 방법으로 ISO13790에 기반한 정적 해석 방식의 에너지샤(energy#)를 이용하여 건물의 에너지 성능에 영향을 미치는 건물의 방위, 외피의 단열수준, 창호의 열성능 및 창면적비, 기밀성능 등을 복합적으로 해

석하여 평가하였다. 이를 통해 노후 단독주택의 에너지 성능 개선의 효과를 직관적으로 파악하고 타당성 있는 개선의 범위를 결정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

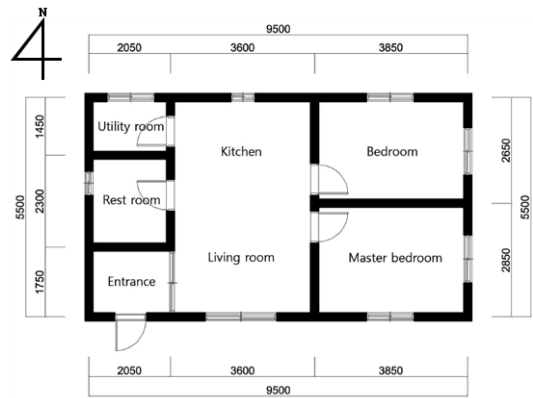
2. 노후 단독 주택의 에너지 성능 분석방법

2.1 노후 단독 주택의 건축 모델

본 논문의 해석대상 건축 모델은 저소득층 주택의 표준모델과 관련한 Kim⁶⁾의 논문을 인용하였다. 이 모델은 2013년 저소득층 에너지효율 개선사업에서 시공지원을 받은 3,061가구 중 단독주택에 해당하는 2,571가구를 대상으로 평면특성을 분석하여 저소득층 가구의 평면형태를 반영하여 결정된 모델이며, Table 1에 건축개요를 보여준다.

Table 1 Dimensions of standard model

Floor area	44.52 m ²	
Ceiling height	2.3 m	
South	wall	17.86 m ²
(Front side)	window	4.14 m ²
	door	1.52 m ²
East	wall	13.4 m ²
(Right)	window	1.44 m ²
West	wall	14.48 m ²
(Left)	window	0.36 m ²
North	wall	19.83 m ²
(Rear)	window	3.69 m ²



2.2 노후 단독 주택의 성능 표준

노후 단독주택의 에너지 성능 표준은 난방에너지 요구량에 큰 영향을 미치는 외벽, 지붕, 창호, 기밀 성능으로 구분하였다. 외벽과 지붕 등의 구조체의 단열성능은 해석 모델 건물의 도면자료의 부재와 현장실측을 통해 건물의 열성능 자료를 수집하는 것에 따른 비용과 시간의 문제로 인해 간접적인 방법인 ‘건축물의 에너지절약설계기준’의 열관류율의 기준에 따라 건축연도의 열관류율을 기본적으로 적용하였다⁷⁾. 하지만 법적 열관류율 기준은 구조체의 경년변화에 따라 단열성능 저하를 반영하지 못하여 계산의 정확성이 떨어진다. Kim et al.⁸⁾은 노후 단독주택의 벽체 단열성능을 현장 측정하여 법적 기준과 비교하였다. 준공 시기가 1960년에서 1997년 사이의 8가구를 실측한 결과, 법적 단열기준과 비교하여 평균적으로 약 35%의 성능저하가 발생하였음을 알 수 있었다. 이에 본 연구에서는 법규기준에서 35%의 성능저하를 반영하여 건축연도에 따른 열관류율 표준값을 에너지 해석의 단열성능으로 적용할 수 있다. 본 연구에서는 1979년 이전의 단열기준값을 이용하였다(Table 2).

Table 2 U-value criteria for a residential buildings (central region)

Period	U-value (W/m ² K)			Modified U-value (W/m ² K)		
	Wall	Floor	Roof	Wall	Floor	Roof
~ 1979.09	1.05	1.05	1.05	1.41	1.41	1.41
1979.09 ~ 1980.12	0.58	1.16	0.58	0.78	1.57	0.78
1981.01 ~ 1984.03	0.58	0.58	0.58	0.78	0.78	0.78
1984.03 ~ 1987.07	0.58	0.58	0.41	0.78	0.78	0.55
1987.07 ~ 2001.01	0.58	0.58	0.41	0.78	0.78	0.55
2001.01 ~ 2008.07	0.47	0.35	0.29	0.63	0.47	0.39

저소득층 에너지효율 개선사업에 지원한 가구의 건물 구조를 분석한 연구⁹⁾에서는 20년 이상 된 단독주택의 경우 창호시스템은 목재프레임을 가진 단창으로 구성된 비율이 높은 것으로 조사되었다. 이에 본 연구에서는 단창에 목재프레임을 가진 창호를 노후 단독주택의 창호로 지정하였다. 또한 창호의 종류별 열적 특성은 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’의 열관유율과 ‘건축물의 에너지절약 설계기준 해설서’의 태양열취득률(SHGC)을 사용하였다(Table 3).

Table 3 Thermal properties of window (PVC frame, 12mm gap)

	Single glass + wood frame	Double glass				Triple glass			
		Common	Argon gas fill	Low-e coated	Argon + low-e	Common	Argon gas fill	Low-e coated	Argon + low-e
U-value (W/m ² K)	5.3	2.8	2.7	2.1	1.9	2.1	2.0	1.6	1.5
SHGC (-)	0.835	0.719	0.720	0.581	0.583	0.633	0.634	0.520	0.517

Kim et al.¹⁰⁾은 기존 단독주택의 침기량을 현장 측정하여, 건축물의 사용연수에 따른 기밀성능 변화를 기본값으로 하여 건축시공의 정밀도와 유지관리 및 개보수 등의 영향을 반영한 침기량을 산정하였다. Table 3은 건축연수에 따른 단독주택의 침기량 예상값을 보여준다. 일반침기량(normal infiltration)은 사용연수만을 고려했을 경우의 침기량이며, 보정침기량(modified infiltration)은 보통정도의 관리상태와 시공수준으로 가정할 경우의 침기량을 의미한다. 여기에 건축물의 부분적인 개보수를 통한 기밀성능의 향상을 창호교체는 0.3, 천장수리는 0.25, 바닥수리는 0.2, 도배와 장판은 0.125회/시간의 보정값을 제시하였다. 본 연구에서는 보정침기량을 기준으로, 벽과 지붕의 단열 보강 또는 창호 교체 등의 개보수에 따른 보정값을 반영하여 에너지 계산에 적용하였다(Table 4).

Table 4 Infiltration rate with years building is used

Used years	0~4	5~8	9~12	13~16	17~20	21~24	25~28	29~
Normal infiltration rate (times/h)	0.25	0.5	0.75	1	1.25	1.5	1.75	2
Modified infiltration rate (times/h)	0.25	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75

2.3 에너지 해석 방법

건물에너지 해석은 ISO13790을 기반으로 독일의 PHPP의 장점을 받아드려 만든 해석적 평가 틀인 에너지샵 (ENERGY#) 프로그램을 이용하였다. 에너지샵은 엑셀기반의 프로그램으로 중소형건물의 해석에 적합한 단

Table 5 Simulation cases

Exterior Wall	WA01	WA02	WA03	WA04	WA05	WA06	WA07	WA08	WA09	WA10
Roof	R01	R02	R03	R04	R05	R06	R07	R08	R09	R10
+ insulation thickness (mm)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
U-value (W/m ² K)	0.997	0.771	0.628	0.530	0.459	0.404	0.361	0.327	0.298	0.274
	Window						U-value (W/m ² K)		SHGC (-)	
WI00	Single glass (normal), wood frame						5.3		0.835	
WI01	Double glass (normal), PVC frame						2.8		0.719	
WI02	Double glass (argon filled), PVC frame						2.7		0.720	
WI03	Double glass (low-e coated), PVC frame						2.1		0.581	
WI04	Double glass (low-e + argon), PVC frame						1.9		0.583	
WI05	Triple glass (normal), PVC frame						2.1		0.633	
WI06	Triple glass (argon filled), PVC frame						2.0		0.634	
WI07	Triple glass (low-e coated), PVC frame						1.6		0.520	
WI08	Triple glass (low-e + argon), PVC frame						1.5		0.517	
	Infiltration						n50 (1/h)		ACH (1/h)	
IN00	-						15.543		1.750	
IN01	Wall paper + linoleum repair						14.433		1.625	
IN02	Roof repair						13.323		1.500	
IN03	Window repair						12.879		1.450	
IN04	Wall paper + linoleum + roof						12.213		1.375	
IN05	Wall paper + linoleum + window						11.769		1.325	
IN06	Roof + window						10.658		1.200	
IN07	Wall paper + linoleum + roof + window						9.545		1.075	

Table 6 Overview of simulation conditions

Division	Sector	Parameters	
General information	Building location	Seoul	
	Completion year	1979	
	Direction	South	
Input data	Heating set point	20°C	
	Internal heat gain	8.21 W/m ²	
	Infiltration rate	1.75 times/hour	
	U-value	Wall	1.41 W/m ² K
		Roof	1.41 W/m ² K
		Floor	1.41 W/m ² K
Window		5.30 W/m ² K	
	Door	2.29 W/m ² K	

일 존 기반의 정적 해석 방식이며, 현재 한국패시브건축협회에서 패시브하우스 에너지평가 교육에 활용되어 지고 있다. 에너지샵의 엑셀 기반 프로그램으로의 장점은 계산과정을 확인할 수 있다는 것과 엑셀 매크로 또는 VBA기능을 활용하여 건물의 방위, 외피의 단열수준, 창호의 열성능 및 창면적비, 기밀성능과 같은 다수의 입력 변수를 복합적으로 변화시키며 반복계산을 빠르게 수행할 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 Table 5의 독립적인 해석 변수들을 조합하여 분석을 수행하였으며, 시뮬레이션에 사용된 주요 변수는 Table 6과 같다.

3. 난방에너지 요구량

단독주택의 난방에너지 요구량에 영향을 주는 주요 변수는 건물의 방위, 창면적비, 외피의 열관류율, 창호의 열관류율과 태양열취득률, 그리고 침기율이 있다. 본 연구에서는 각각의 변수가 에너지 성능이 미치는 영향을 건물의 방위와 창면적비는 독립적으로, 외피의 열관류율, 창호의 열성능, 그리고 침기율은 복합적으로 계산하여 분석하였다.

3.1 건물의 방위

Fig. 1은 표준 건물의 방위 변화에 따른 창호를 통한 일사 열획득량과 건물의 난방에너지 요구량의 변화를 보여준다. 표준 건물의 좌측면의 창면적이 작기 때문에 좌측면이 남향이 되는 경우에는 창호를 통한 일사 열획득이 최대 17.96% 감소하여 난방에너지 요구량이 증가함을 알 수 있다. 하지만, 건물의 전체 난방에너지 요구량과 비교하여 보면 그 변화가 2%에도 미치지 못하여, 상대적으로 다른 요인에 비해 중요도가 낮음을 확인하였다.

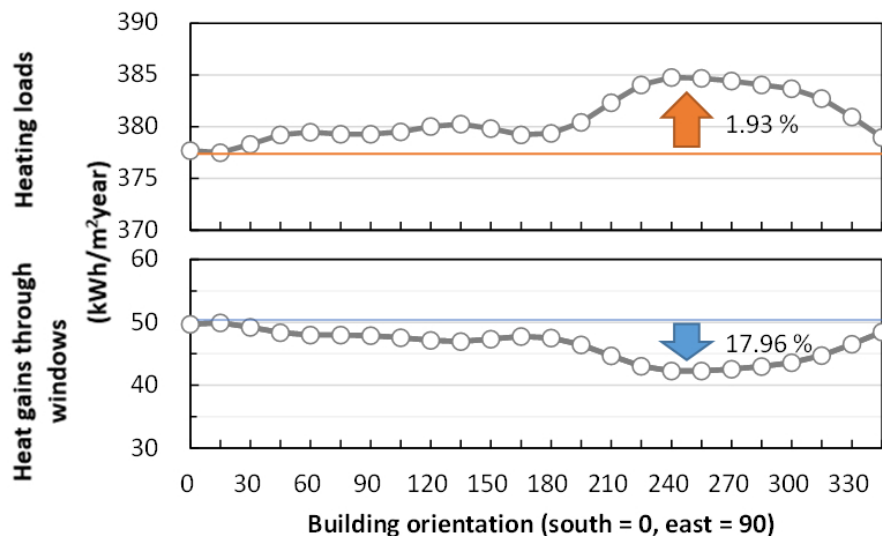


Fig. 1 Heat gains through windows and heating load by building orientation

3.2 외벽과 지붕의 단열

건물외피의 추가적인 단열시공은 건물의 열관류율을 낮춤으로써 난방부하 줄이는데 효과가 가장 좋은 방법이다. Fig. 2을 보면 난방에너지 절감량은 열관류율 변화와 선형적인 1차원 비례관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. Fig. 2의 0%는 벽체와 지붕에 단열보강을 하지 않은 상태로 열관류율이 1.41 W/m²K이며, 100%는 현재의 단열기준(에너지절약 설계기준에서 중부2지역의 외기에 면한 외벽 0.17 W/m²K, 외기에 직접면한 지붕 0.15 W/m²K)을 의미한다. 하지만, 단열재 두께와 건물외피의 열관류율과는 비선형의 관계를 보인다. Fig. 3은 기존 단열수준에서 단열재의 추가에 따른 외피의 열관류율 변화를 보여준다. 열관류율을 결정하는 단열재의 두께와 열관류율과는 비선형적인 관계로 초기 단열 수준이 높은 경우에는 단열재 두께의 증가에 의한 열관류율의 개선효과가 적어진다. 일정 이상의 단열수준에서는 추가적인 단열 성능 개선은 에너지 절감 효과가 적음을 알 수 있다.

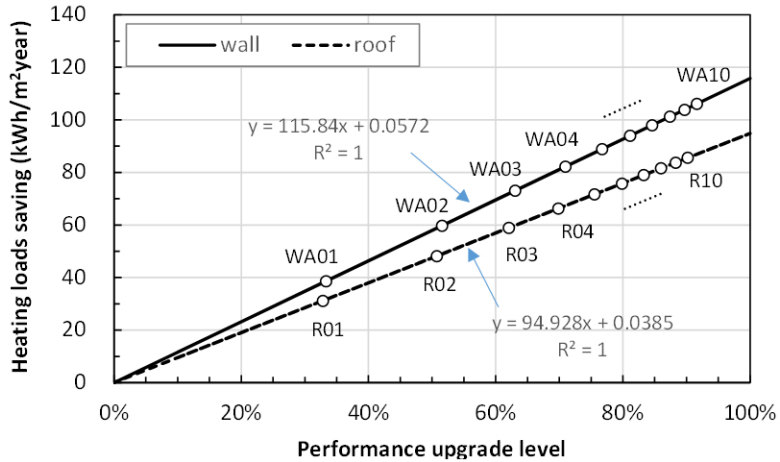


Fig. 2 Heating load by performance level of exterior walls and roof

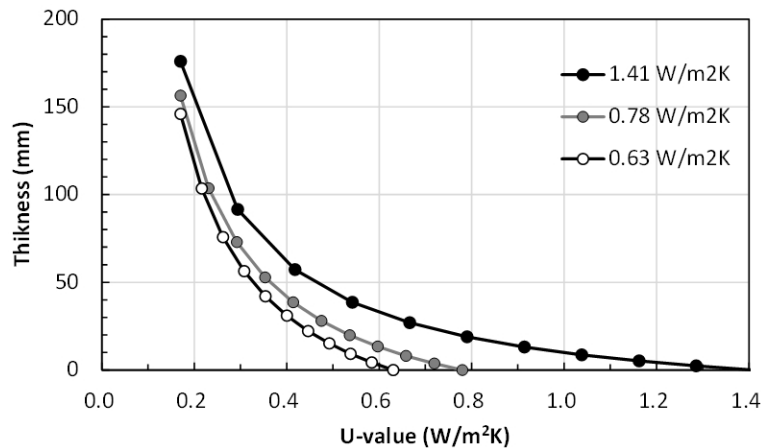


Fig. 3 U-value variate by additional insulation thickness

3.3 창호의 열성능 및 창면적비

Fig. 4는 표준 건물의 모든 창호를 개선하는 것으로 가정하여 창호의 단열성능 개선에 따른 난방요구량 절감과의 관계를 보여준다. 외벽, 지붕과 마찬가지로 100% 조건은 현재의 창호 단일기준(중부2지역의 외기에 직접 면한 공동주택외의 창 1.5 W/m²K)을 의미한다. 외벽과 지붕의 단열과 비교하였을 때 창호의 단열개선에 의한 효과는 상대적으로 낮게 나타났다. 또한 기존의 단창에서 일반 복층창(WI01)으로의 개선에서는 의미 있는 결과를 보이지만, 일반 복층창에서 고성능 창호(WI02~WI08)로의 개선에서는 절감효과가 크지 않음을 알 수 있다.

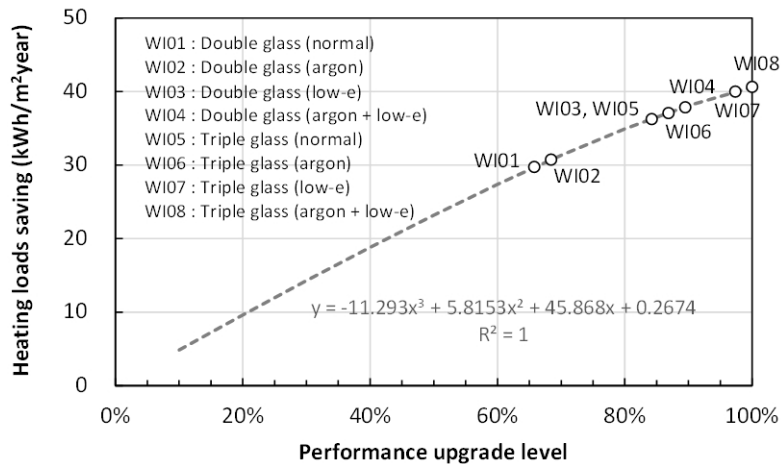


Fig. 4 Heating load by performance level of windows

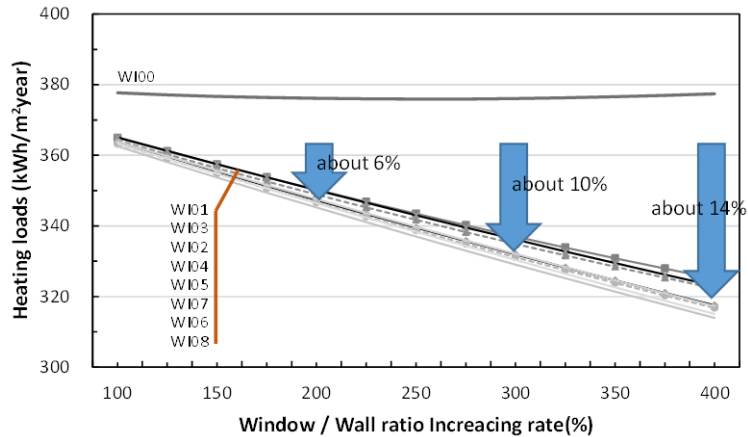


Fig. 5 Heating load by variation of window / wall ratio

Fig. 5는 남측창만을 대상으로 창면적의 증가와 창호의 성능개선을 통한 난방 에너지 요구량 절감효과와의 관계를 보여준다. 기존 단창의 경우, 창면적의 증가에 따른 부하절감효과가 없음을 알 수 있다. 이는 창면적 증가에 따른 일사 열획득 이득이 창호의 높은 열관류율로 인한 열손실을 보상해주지 않는다는 것을 의미한다. 하지만, 복층창이상의 경우에는 창면적의 증가가 에너지 절감효과가 있음을 보여 준다. 이는 고성능창호의 낮은

SHGC로 인한 일사 열획득량 감소보다는 낮은 열관류율로 인한 열손실이 적어지는 것이 효과적이라는 것을 알려준다. 기존 창면적의 200%일 경우 약 6%, 300%일 경우 약 10%, 400%일 경우 약 14%의 절감효과가 있음을 알 수 있다.

3.4 기밀성능

본 연구에서는 기밀성능의 개선을 독립적인 요소로 보지 않고 벽체, 지붕, 창호 등의 개보수와 같이 진행하는 것으로 가정하였다. Fig. 6은 신축 단독주택의 침기량인 0.25 회/시간을 100%의 성능지표로 하고 건축연령 30년 이상인 주택의 보정침기량인 1.75회/시간을 최저성능값(0%, 개선이 없는 상태)으로 하여 기밀성능과 난방요구량의 관계를 보여준다. 신축 단독주택 수준의 침기성능 개선을 수행하면 연간 약 80kWh/m²의 난방요구량 절감효과를 얻을 수 있다. 벽체와 바닥, 지붕, 창문을 모두 개보수 하여 침기성능을 확보한 경우에는 신축 단독주택의 기밀성능 대비 45%수준까지 기밀성능이 개선되는 것을 알 수 있다.

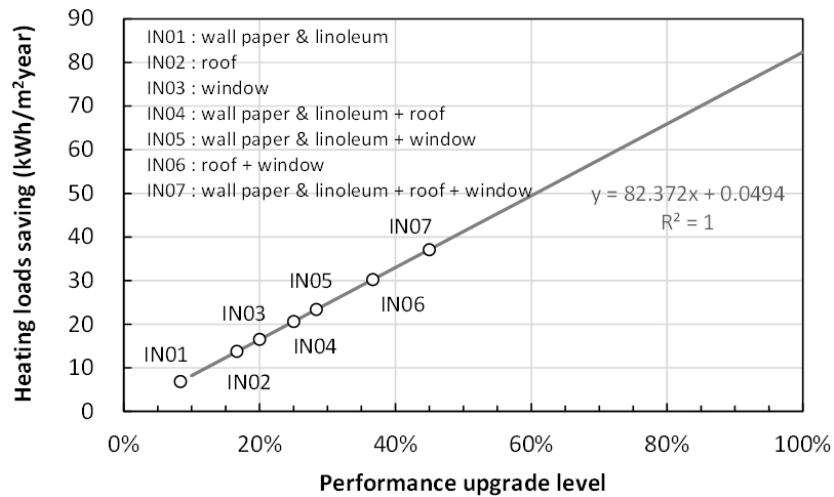


Fig. 6 Heating load by performance level of infiltration

4. 성능개선 대안별 에너지 절감 효율

단독주택의 난방에너지 요구량에 영향을 주는 주요 변수는 건물의 향, 창면적비, 외피의 열관류율, 창호의 열관류율과 태양열취득률, 침기량 등이 있다. 이 중에서 건물의 향은 개보수의 대상이 되지 못하고, 창면적비 역시 개보수 비용 대비 에너지 절감효과가 낮아 종합적인 분석 대상에서 제외하였다. Fig. 7은 외벽, 지붕, 창호의 개선 수준에 따른 난방에너지 요구량 결과를 보여주며, 절감 목표에 따라 선택할 수 있는 대안을 확인하는 것이 가능하다. 기존 대비 50% 이상의 에너지 절감효과를 얻기 위해서는 외벽의 단열 수준이 WA03일 경우는 창호 성능이 WI01 이상이며 지붕이 R03이상이어야 한다. 또한 WA05의 외벽 단열수준에서는 창호성능이 WI01이

상이면 지붕의 성능이 R01이어도 50% 이상의 절감효과를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다. 이렇듯 절감 효율의 목표치에 맞춰 성능 개선 요소들의 수준을 결정할 수 있게 된다.

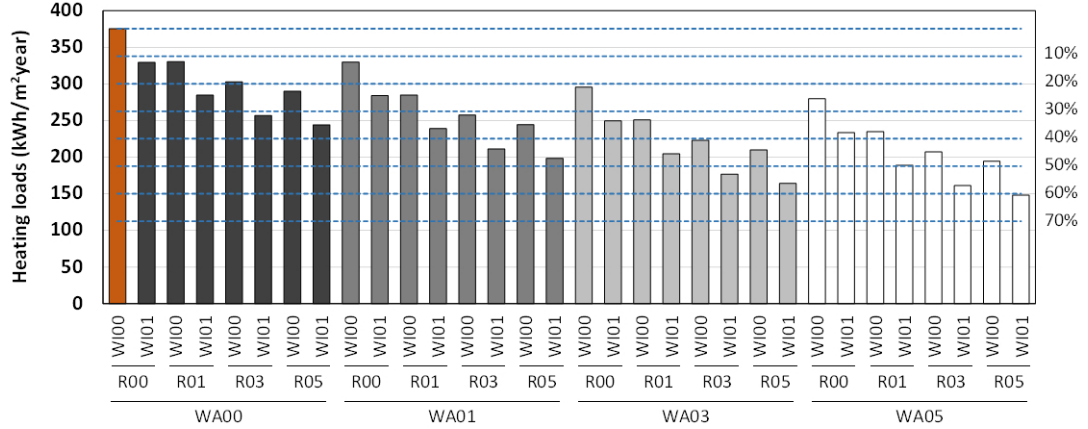


Fig. 7 Heat gains through windows and building heating load by building orientation

5. 결론

본 논문에서는 노후 단독주택의 난방에너지 효율 개선 목표를 달성하기 위해 필요한 개선수준을 결정하는 방법을 제시하였다. 이를 위해, 해석 대상의 초기 성능 조건에서 건물의 노후화에 의한 영향을 고려하였고, 외벽, 지붕, 창호와 기밀 등 다양한 성능 개선 수준을 복합적으로 분석하기 위해 정적 해석 방식인 에너지샵을 이용하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 건물의 노후화에 따른 해석 대상의 초기 성능조건으로 단열성능은 법규기준에서 35%의 추가적인 성능 저하를 반영하였다. 건물의 기밀성능도 내구연수, 유지관리와 시공 수준 등을 반영하여 결정하였다.
- (2) 건물의 방위에 따른 난방요구량 분석에서는 창면적이 가장 작은 건물의 좌측면이 남향일 경우가 난방 요구량이 가장 높았다. 하지만, 전체적으로 2% 이하의 차이를 보이고 있다.
- (3) 외피의 열관류율과 에너지 절감량은 선형적인 정비례 관계를 보인다. 하지만, 열관류율을 결정하는 단열재의 두께와 열관류율과는 비선형적인 관계로 초기 단열 수준이 높은 경우에는 단열재 두께의 증가로 인한 열관류율의 개선효과가 적어진다. 일정 이상의 단열수준에서는 추가적인 단열 성능 개선은 에너지 절감 효과가 상대적으로 높지 않음을 알 수 있다.
- (4) 기존의 단창에서 일반 복층창으로의 개선 효과는 높게 나타났다. 하지만, 일반 복층창에서 아르곤 유리, 로우이 유리, 삼중창 등으로의 성능개선은 높지 않았다. 남측벽의 창면적비의 증가는 단창에서는 에너지 절감에 영향을 미치지 못하지만, 복층창이상의 창호에서는 개선효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.
- (5) 벽체와 바닥, 지붕, 창문의 개보수에 따른 각각의 기밀성능 개선효과를 바탕으로 침기량을 산정하여 계산하였으며, 모든 부위를 개보수한 경우 신축 단독주택의 기밀성능과 비교하여 45% 수준으로 기밀성능이

개선됨을 알 수 있다.

- (6) 외벽, 지붕, 창호, 그리고 기밀성능의 개선에 따른 에너지 절감 효율을 종합적으로 분석하여 절감 목표를 만족시키기 위한 개선 요소별 적용 수준을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 에너지 효율을 중심으로 연구를 수행하였으며, 후속 연구를 통해 에너지성능개선에 필요한 시공비용과 개선으로 얻는 에너지 절감비용에 대한 LCC 분석을 수행하여 에너지 절감 목표를 달성하기 위한 최적의 개선 대안을 제시하는 연구를 추가적으로 진행할 계획이다.

후기

본 연구는 2017년도 경남대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음(과제번호: 20170137).

REFERENCES

1. Statistics Korea, Housing Census 2017(<http://kosis.kr>).
2. Seo, S. M., Park, J. C., and Rhee, E. K., An Analysis of Thermal Loads Depending on Korea Building Insulation Standard and the Optimum Insulation Standard, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 31, No. 5, pp. 146-155, 2011.
3. Kim, M. K. and Kim, S. E., Technical Factors on Energy Performance Improvement and the Effects for the Existing Detached House, *Seoul Studies*, Vol. 11, No. 3, pp. 29-47, 2010.
4. Jeong, J. W., Cho, D. W., Mok, S. S., Park, A. R., and Park, G. S., An Analysis of Energy Performance Improvement by Retrofit in Deteriorated Houses, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 28, No. 12, pp. 427-434, 2012.
5. Lee, S. J., Kim, J. H., Jeong, H. G., Yoo, S. H., and Lee, J. H., Heating Energy Efficiency Improvement Analysis of Low-income Houses, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 11, No. 3, pp. 212-218, 2017.
6. Kim, J. H., Heating Energy Baseline and Saving Model Development of Detached Houses for Low-income Households, UST, 2015.
7. Korea Energy Agency, Guide book of Building Design Criteria for Energy Saving (MOLIT Notice No. 2017-881), pp. 245-251.
8. Kim, S. H., Kim, J. H., Jeong, H. G., and Song, K. D., Analysis of Energy Efficiency Improvement Project through U-value and IAQ Measurement of Low-income Households, *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 17, No. 6, pp. 73-79, 2017.
9. Kim, J. G., Lee, J. H., Jang, C. Y., Song D. S., Yoo, S. H., and Kim, J. H., Heating Energy Saving and Cost Benefit Analysis according to Low-Income Energy Efficiency Treatment Program - Case Study for Low-Income Detached Houses Energy Efficiency Treatment Program, *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 16, No. 5, pp. 39-45, 2016.
10. Kim, G. T., Yoo, J. H., Hwang, H. J., and Kim, K. S., A Study on the Calculation Method of Infiltration for Detached Houses, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 25, No. 9, pp. 493-498. 2013.