



RESEARCH ARTICLE

노후 단독주택 그린 리모델링을 대상으로 한 단열재 사양에 따른 경제성 분석에 관한 연구

황석호*

경남대학교 건축학부 건축공학전공 부교수

A Study on Economic Analysis According to Insulation Specifications for Green Remodeling in Deteriorated Single Family House

Hwang, Seok-Ho*

Associate Professor, School of Architecture, Kyungnam University, Changwon, Korea

*Corresponding author: Hwang, Seok-Ho, Tel: +82-55-249-2399, E-mail: hwangsh@kyungnam.ac.kr

ABSTRACT

In green remodeling, the insulation reinforcement is the most common method. The insulation remodeling can achieve higher energy savings at low cost. In this study, economical analysis for old detached house was performed by the insulation type and thickness according to the energy saving level, insulation codes, cost-benefit. In the case of Extruded Polystyrene (XPS) foam insulation, the energy performance and Net Present Value are highest among analysis cases, but the economic feasibility will be lowered because the increase of construction cost is greater than energy cost savings due to increasing insulation thickness. Expendable Polystyrene (EPS) foam Class 1 No. 4, which has the lowest material cost, indicate the fastest simple payback period. However, in the cost benefit analysis considering the cost reduction due to energy saving, the EPS Class 2 No. 4 100 mm indicate highest benefit.

주요어 : 단열, 그린리모델링, 노후 단독주택, 경제성 분석

Keywords: Insulation, Green remodeling, Deteriorated single family house, Economic analysis

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 December, 16(6): 519-530
<https://doi.org/10.22696/jkiaeb.20220044>

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: November 10, 2022

Revised: November 26, 2022

Accepted: November 28, 2022

© 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

최근 발생하고 있는 여러 기상이변 현상이 온실가스의 증가로 인한 지구온난화의 결과임이 밝혀지면서, 탄소중립 사회로의 변화가 선택이 아닌 필수로 인식되어지고 있다. 건축분야에서 이러한 탄소중립을 위해서는 신규 건축물의 탄소중립(제로에너지) 건물의 보급뿐만 아니라 기존 건축물의 에너지효율을 향상시키는 그린 리모델링의 중요성이 강조되고 있다. 일반적으로 그린 리모델링에서는 건물 외피와 창호의 단열성능 개선이 최우선적인 고려대상이 된다. 이에 기존의 많은 연구에서는 에너지 성능을 개선할 수 있는 외피 대안을 제시하고 상호 비교하여 에너지 성능과 경제성 등의 분석을 수행하였다(Kim et al., 2014; Han et al.,

2017; Yeom et al., 2021). 하지만, 이러한 연구에서는 주로 연구에서 제시한 몇 개의 선택적 개선안에 대해서만 분석하고 있다는 한계를 가지고 있다.

또한, 그린 리모델링과 관련한 경제성 분석에서 초기 투자비를 산정하는 방법에는 사례연구를 통하여 실제 구현된 리모델링의 공사비를 이용하는 방법과 표준품셈과 일위대가 및 물가정보 자료를 이용한 방법이 있다. 사례연구를 통한 방법은 실제 진행된 공사의 공사비를 바탕으로 공정별로 공사비를 분석할 수 있으나, 사례에만 국한되는 특수성이 반영될 수 있어 일반화하는 것에 주의가 필요하다. 한편, 표준품셈 등을 이용하는 방식은 건축 공정의 모든 부분을 세분화하여 비용을 산출해야 한다는 단점은 있으나, 일반적인 건축 공정에서 표준화된 공사비의 산정이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

노후 단독주택의 경우는 일반적으로 자발적인 그린 리모델링을 수행하기에 건축주의 경제적 부담이 크며, 따라서 경제성을 충분히 고려한 리모델링 계획이 중요하다. Shin et al. (2021)의 연구에서는 시공비용과 현장 적용 자재비용 등의 변수까지 고려하여 제로에너지 수준의 그린 리모델링을 위한 단열공사의 공사비를 예측할 수 있는 모델을 구축하였다. 하지만, 단열재의 종류에 따른 단열성능의 차이가 반영되었는지 확인할 수 없었으며, 시공비의 경우도 단열재의 두께와 시공 부위에 따른 차이가 반영되지 못한 한계를 가지고 있다. 또한, 공사비만을 예측하는 모델로써 에너지 성능의 차이에 따른 경제성을 분석하지는 못하였다. Kwon et al. (2021)의 연구에서는 저에너지주택을 구현하기 위해 일반주택대비 증가하는 공사비를 사례조사 결과를 이용하여 분석하였다. 하지만, 소수의 사례를 가지고 분석하여 대표성을 갖는 공사비 결과로써의 한계를 가지고 있으며, 앞의 논문과 마찬가지로 에너지 성능의 차이에 따른 경제성을 분석하지는 못하였다.

이에 본 연구에서는 그린 리모델링의 필수요소인 단열보강과 관련하여 단열재의 종류와 단열 두께에 따른 초기 투자비용의 차이를 분석하고, 에너지 해석을 이용하여 에너지 비용 절감을 통하여 공사 비용 또는 에너지 효율 개선율을 만족시키는 최적의 리모델링 대안을 선정할 수 있는 방법을 제시하고 검토하였다.

단열공사비와 에너지비용 분석 방법

단열공사비 산정

단열공사비는 단열재의 재료비와 노무비 및 공사소모품비, 그리고, 공사의 간접비(간접노무비, 경비, 일반관리비)와 이윤으로 구성되어 분석하였다.

단열재의 재료비는 단열재의 종류에 따라 물가정보자료(2022년 10월 기준)를 이용하여 비용을 산출하였다(KPRC, 2022). 본 논문에서는 건설공사 표준시장단가 적용공정에 있는 압출법(XPS)와 비드법(EPS)를 대상으로 분석하였으며, Table 1은 각각의 단열재에 대한 단위두께와 단위면적에 대한 단가와 열적물성치를 보여주고 있다. 단열재의 단가는 물가정보(KPRC, 2022)에서 제공하는 업체별 단가의 평균값으로 하였으며, 단열재의 열전도율은 업체의 홈페이지에 제공된 제품성적서의 평균값으로 하였다.

Table 1. Insulation material unit cost (m²)

	XPS		EPS Class 2				EPS Class 1			
	Spec.	No.1	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4
Cost (Won/mm·m ²)	169.9	162.2	134.3	113.4	92.6	71.8	119.8	101.9	80.9	66.0
Thermal conductivity (W/m·K)	0.026	0.027	0.030	0.031	0.032	0.033	0.035	0.036	0.039	0.041

단열공사와 관련한 노무비와 공사소모품비는 국토교통부에서 고시한 “2022년 하반기 건설공사 표준시장단가 적용공종 및 단가”를 기준으로 하였으며, 단열공사는 접착제를 이용한 단열재 1겹 붙임 공사로 하여 노무비와 관련한 경비를 산출하였다(MOLIT, 2022). 단열재의 두께에 따른 공사비용의 차이를 반영한 단열공사의 단위면적당 노무비와 공사소모품비는 Table 2와 같다. 단열공사의 단가는 벽체의 면적에 따라 산출하였으며, 단열재의 두께 범위에 따라 노무비가 증가하는 것으로 하였다. 또한, 본 연구에서는 단열재의 종류와 두께의 차이에 따른 비용분석을 연구의 목적으로 하였기 때문에 단열공사 후의 실내마감공사는 모든 케이스가 동일한 비용이 발생하는 것으로 가정하여 공사비 산정에서는 제외하였다.

Table 2. Insulation labor and materials unit cost (Won/m²)

Item	Unit	Quantity (-)	Material		Labor	
			Unit cost	Cost	Unit Cost	Cost
Adhesive	kg	0.325	1700	552.5		
Wall (~50 mm)	Interior Carpenters	person	0.051		222,738	11,359.6
	Normal Worker	person	0.009		153,671	1,383.0
Wall (50~100 mm)	Interior Carpenters	person	0.057		222,738	12,696.1
	Normal Worker	person	0.010		153,671	1,536.7
Wall (100~200 mm)	Interior Carpenters	person	0.060		222,738	13,364.3
	Normal Worker	person	0.011		153,671	1,690.4

단열공사에 따른 간접비와 이윤은 조달청에서 제공하는 “2022년 조달청 시설공사 원가계산 간접공사비 적용기준”을 따랐다. 간접공사비에 해당하는 간접노무비, 기타경비, 일반관리비와 이윤에 대한 비율은 조달청의 적용기준에서 최소공사비(50억 미만)와 최단공사기간(6개월 이하)으로 하였으며 Table 3과 같다.

Table 3. Criteria of indirect cost and profit

Items	Application criteria
Indirect labor cost	(Direct labor cost) × 12.5%
Expenses	(Material cost + labor cost) × 7.8%
Overhead	(Material cost + labor cost + expenses) × 6.0%
Profit	(Labor cost + expenses + overhead) × 15.0%

리모델링 분석 대상 및 계산조건

분석 대상 건물은 철근콘크리트 구조의 단층 단독주택으로 가정하였으며, 연면적이 82 m², 천장고는 2.3 m, 층고는 2.63 m, 건물의 장단비는 1.5로 하였다. 외벽의 창면적비는 남측은 40%로 하였으며, 북측, 동측, 서측은 20%로 하였으며, 분석대상 건물의 형태는 Hwang (2022)의 논문과 동일하게 하였다.

분석 대상 건물의 냉난방비용을 분석하기 위하여 에너지 해석을 통한 냉난방 요구량과 1차 에너지 요구량을 계산하고, 이를 바탕으로 에너지비용을 계산하였다. 본 연구에서의 에너지 해석은 ISO13790을 기반으로 개발된 Energy# 프로그램(Bae, 2016)을 사용하였으며, 냉난방에 해당하는 1차 에너지 요구량의 계산을 위하여 Table 4의 계산 조건을 이용하였다. 건물 외피의 열관류율은 ‘에너지 절약 설계기준’의 1987년도 중부지방 기준으로 하였으며, 환기 횟수는 공동주택의 환기기준인 0.5 ACH로 하고, 침기율은 0.35 ACH로 하였다(Hwang, 2019). 내부발열량의 계산을 위하여 실내 조명과 기기밀도는 Seo et al. (2014)의 연구에서 사용된 표준 공동주택 모델에서의 조명 및 가전기기 사용밀도를 이용하여 월간 조명과 기기의 전력사용량이 동일하도록 에너지해석 프로그램의 입력양식에 맞춰 수정하여 사용하였다.

Table 4. Simulation model conditions

Division	Parameter	Value	
General information	Building location	Seoul	
	Direction	South	
	Heating and cooling set point	20 / 26°C	
	Internal heat gain (human, lighting, electronic device, etc.)	6.85 W/m ²	
	Ventilation rate	0.5 ACH	
Building input data	Infiltration rate	0.35 ACH	
	U-value	Exterior Wall	0.58 W/m ² K
		Roof	0.41 W/m ² K
		Ground Floor	0.58 W/m ² K
		Window (AL frame + double glass)	3.37 W/m ² K
		Door	2.70 W/m ² K
Energy systems	LNG Boiler efficiency	85%	
	Air conditioner COP	3.0	
	Domestic hot water demand	3.1 W/m ²	
	Lighting electric power demand	3.83 W/m ²	
	Home appliance electric power demand	6.4 W/m ²	

분석 조건은 기존주택의 외벽에 단열재의 종류와 두께를 다르게 하여 단열을 추가하는 리모델링의 조건으로 하였다. 단열재는 압출법 특호와 1호, 비드법 2종 1호부터 4호, 비드법 1종 1호부터 4호까지 10종류로 하고, 두께는 50 mm부터 150 mm까지 10 mm씩 증가시켜 해석 케이스를 설정하였다. 단열공사를 통한 구조체의 열관류율의 변화를 단열재의 종류와 두께에 따라 계산한 결과를 Table 5에 보여준다. ‘건축물의 에너지절약 설계기준’에서 서울지역 공동주택의 외벽 열관류율 기준인 0.170W/m²K와 공동주택 이외의 기준인 0.24W/m²K를 만족하는 경우를 각각 음영으로 표시하였다. 열전도율이 낮은 압출식 단열재의 경우는 120 mm의 추가 단열시공으로 기준을 만족시킬 수 있었으며, 열전도율이 상대적으로 높은 비

드법 1종 1호와 2호의 경우는 150 mm의 추가 단열시공이 필요하고, 비드법 1종 3호와 4호는 150 mm 이상의 단열이 필요함을 알 수 있다.

Table 5. U-value by insulation type and thickness (W/m²K)

Insulation thickness	XPS		EPS Class 2				EPS Class 1			
	Spec.	No.1	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4
50 mm	0.280	0.285	0.295	0.300	0.304	0.309	0.317	0.321	0.333	0.340
60 mm	0.253	0.259	0.269	0.273	0.278	0.282	0.291	0.295	0.307	0.314
70 mm	0.232	0.237	0.246	0.251	0.256	0.260	0.269	0.273	0.284	0.291
80 mm	0.213	0.218	0.228	0.232	0.237	0.241	0.249	0.253	0.265	0.272
90 mm	0.198	0.202	0.212	0.216	0.220	0.225	0.233	0.237	0.248	0.255
100 mm	0.184	0.189	0.198	0.202	0.206	0.210	0.218	0.222	0.233	0.240
110 mm	0.172	0.177	0.186	0.190	0.194	0.198	0.205	0.209	0.220	0.227
120 mm	0.162	0.166	0.175	0.179	0.183	0.187	0.194	0.198	0.208	0.215
130 mm	0.153	0.157	0.165	0.169	0.173	0.177	0.184	0.187	0.198	0.204
140 mm	0.145	0.149	0.156	0.160	0.164	0.168	0.175	0.178	0.188	0.195
150 mm	0.137	0.141	0.149	0.152	0.156	0.160	0.166	0.170	0.180	0.186

에너지 비용 산출 기준

에너지비용의 산출을 위한 에너지 단가는 2022년 10월 1일 기준으로 한국전력(KEPCO, 2022)과 한국도시가스협회(KCGA, 2022)의 자료를 이용하였으며 Table 6과 같다. 전기요금에는 기본요금과 전력량요금에 전력사용량에 따른 기후환경요금과 연료비조정요금의 합계에 부가가치세(10%)와 전력기반기금(3.7%)를 가산하여 금액을 산출하였다. 도시가스요금은 서울을 기준으로 공시된 기본요금과 가스사용요금에 부가가치세(10%)를 가산하여 금액을 산출하였다.

Table 6. Unit cost of electric and city gas

1. Electric Residential Service (Low-voltage) (10% VAT and 3.7% of Electrical Industry Foundation Fund not included) (Oct.1.2022)			
Season	Section	Demand charge (Won/household)	Energy charge (Won/kWh)
Summer (7.1 ~ 8.31)	1 ~ 300 kWh	910	100.6
	301 ~ 450 kWh	1,600	195.2
	over 450 kWh	7,300	287.9
Other seasons (1.1 ~ 6.30, 9.1 ~ 12.31)	1 ~ 200 kWh	910	100.6
	201 ~ 400 kWh	1,600	195.2
	over 400 kWh	7,300	287.9
Climate Change & Environment Charge			7.3 (Apr.1.2022)
Fuel Cost Pass-Through Adjustment Rate			5.0 (4th quarter 2022)
2. City gas Residential Service (10% VAT not included) (Oct.1.2022)			
Section		Demand charge (Won/household)	Energy charge (Won/MJ)
Heating, Cooking		1,000	19.691

경제성 분석 기준

리모델링을 통한 비용의 예측을 위하여 생애주기비용(LCC)분석을 수행하였다. 분석기간은 법인세법 시행규칙의 ‘건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표(제15조 제3항관련)’의 기준에서 철근콘크리트조 건축물의 내용연수인 40년으로 설정하였다. 또한, 리모델링한 단열의 유지관리를 위한 수선주기와 수선율에 대한 기준은 Lee et al. (2013)을 참조하여 주택법 시행규칙의 별표5 장기수선계획의 수립기준(제26조 제1항 및 제30조 관련)<개정 2012.3.16.>을 기준으로 수선주기 15년, 수선율 20%로 하였다.

생애주기비용은 미래에 발생하는 비용을 현재 시점으로 환산하여 평가하는 순현재가치법(NPV, Net Present Values)을 이용하였다. 현재가치(P_f)의 비용환산은 식 (1)을 이용하였으며, 미래발생비용(F (에너지비용과 수선비용))과 경과년수(n), 실질할인율(i)을 적용하여 계산하였다. 여기서, 실질할인율은 현재의 투자가치를 미래의 수익 가치로 환산하는 비율로서 인플레이션의 영향을 제거한 것으로 식 (2)를 이용하여 계산한다. 명목할인율과 기대물가상승률은 한국은행 경제통계시스템(ECOS, 2022)에서 제공하고 있는 1997년부터 2021년까지의 예금금리 수신금리(i_n , 명목 할인율)와 소비자 물가 상승률(f , 기대물가상승률)의 평균값을 이용하여 계산하였으며 Table 7과 같다. 또한, 에너지 요금의 상승률은 물가상승률과 동일하게 적용하였다.

$$P_f = F \times \left(\frac{1}{(1+i)^n} \right) \tag{1}$$

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1 \tag{2}$$

Table 7. Real discount rate (%)

Year	Deposit interest	Inflation rate	Real discount rate	Year	Deposit interest	Inflation rate	Real discount rate
1997	11.32	4.4	6.63	2010	3.19	2.9	0.28
1998	13.30	7.5	5.40	2011	3.69	4	-0.30
1999	6.90	0.8	6.05	2012	3.43	2.2	1.20
2000	7.01	2.3	4.60	2013	2.73	1.3	1.41
2001	5.43	4.1	1.28	2014	2.43	1.3	1.12
2002	4.73	2.8	1.88	2015	1.74	0.7	1.03
2003	4.15	3.5	0.63	2016	1.48	1	0.48
2004	3.75	3.6	0.14	2017	1.56	1.9	-0.33
2005	3.62	2.8	0.80	2018	1.87	1.5	0.36
2006	4.41	2.2	2.16	2019	1.75	0.4	1.34
2007	5.07	2.5	2.51	2020	1.05	0.5	0.55
2008	5.71	4.7	0.96	2021	1.08	2.5	-1.39
2009	3.26	2.8	0.45	Average	4.19	2.57	1.57

해석 결과 및 고찰

기존 주택의 에너지 요구량과 비용분석

단열공사 전의 기존 주택에서의 연간 용도별 에너지 요구량과 에너지 비용은 Figure 1과 같다. 에너지 비용의 계산에서는 난방, 급탕, 취사를 합친 에너지 요구량을 이용하여 도시가스 요금을 산출하고, 난방, 급탕, 취사 에너지 요구량의 비율로 나뉘었으며, 전기요금은 냉방, 조명, 가전기기의 에너지 요구량을 합한 전기요금을 산출한 후 각각의 에너지 요구량 비율로 나누었다. 외피의 단열성능이 낮아 난방 에너지 요구량의 비율이 높게 나타났다. 또한, 에너지 비용에서는 누진요금제가 적용되는 전기요금의 비율이 상승함을 알 수 있다.

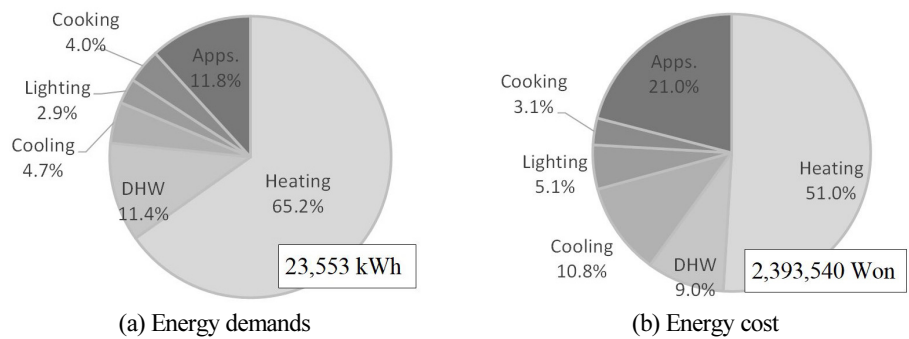


Figure 1. Rate of annual energy consumption and energy cost

단열재의 열적성능과 공사비

Figure 2는 단열공사를 통한 벽체의 열성능을 개선하기 위해 투입되는 리모델링 공사비를 보여준다. 동일한 열적성능(열관류율, U-value)을 달성하기 위한 공사비를 비교하면 비드법 2종의 단열시공의 경우가 가장 적은 비용으로 성능을 달성할 수 있었고, 압출법 단열시공이 가장 많은 비용이 필요하다는 것을 보여준다.

또한, Figure 3은 단열공사비를 단열재의 두께로 나눠 리모델링을 통한 실내 공간이 줄어드는 것까지 고려한 비용분석의 결과를 보여준다. 일반적으로 단열성능을 높이기 위해서는 단열 두께가 증가하여야 한다. 하지만, 단열 두께의 증가로 인해 실내면적의 감소 및 재료비와 시공비의 증가가 발생함을 리모델링 계획시 고려하여야 한다. 고성능의 단열 조건에서는 동일한 단열성능에서도 단열재의 종류와 단열 두께의 차이에 의한 단열공사비의 편차가 커짐을 보여준다. 단위 두께에 대한 비용을 동일한 공사비로 하였을 경우(동일한 세로축으로 분석), 압출법이 가장 높은 열성능을 보여 두께를 고려한 단열재의 선택에서는 성능이 좋은 압출법 단열재를 사용하는 것이 좋을 것을 보여준다. 한편 단열 두께에 대한 고려없이 동일한 열성능만을 고려하였을 경우(동일한 가로축으로 분석), 비드법 1종 단열재가 단위 두께당 공사비가 가장 적어 경제성이 있음을 알 수 있었다.

Table 8은 ‘건축물의 에너지 절약 설계기준’의 외벽 단열기준인 $0.170 \text{ W/m}^2\text{K}$ 을 만족시키는 단열 보강에 대한 단열공사비를 비교하였다. 법규를 만족시키는 최소비용의 단열은 비드법 2종 4호 140 mm을 적용하는 것으로 나타났다. 압출법 특호의 경우 단열 두께는 20 mm 줄일 수 있으나 공사비용이 1.35배 증가하는 것으로 나타났다.

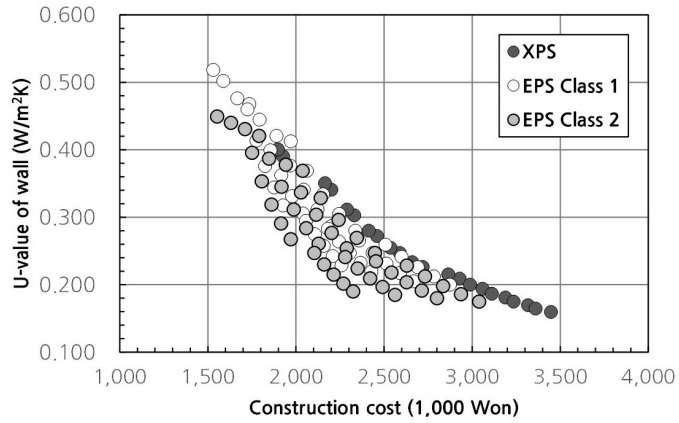


Figure 2. Construction cost by U-value

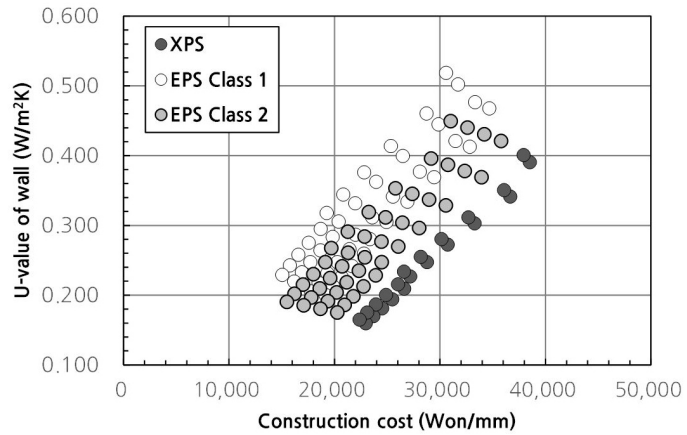


Figure 3. Construction cost considering insulation thickness by U-value

Table 8. Insulation material's construction cost by building standard code

	XPS		EPS Class2				EPS Class1	
	Spec.	No.1	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2
Thickness (mm)	120	120	130	130	140	140	150	150
U-value (W/m²K)	0.162	0.166	0.165	0.169	0.164	0.168	0.166	0.170
Construction cost (1,000 KRW)	3,057	2,987	2,833	2,626	2,490	2,268	2,872	2,667

단열공사의 경제성 분석

Table 9는 단열재의 종류와 두께에 따른 단순 회수 기간(SPP ; Simple Payback Period)과 현재가치로 환산한 순이익(NPV ; Net Present Value)의 결과를 보여준다. 단순 회수 기간은 이자율을 고려하지 않고 순수 공사비(IC ; Initial Cost)를 연간 순이익으로 나눈 것으로 연간 순이익은 단열 공사를 통해 절감되는 연간 에너지 비용(ESC ; Energy Saving Cost)으로 하였다. 또한, 현재가치로 환산한 순이익은 40년간의 연간 에너지 비용 절감액에서 초기 투자비와 유지관리비를 제외한 금액을 현재가치로 환산한 금액이다.

Table 9. Result of simple payback period and net present value (IC, ESC, NPV :1000 KRW, SPP : Year)

Thickness (mm)	XPS			EPS Class2				EPS Class1			
	Spec.	No.1	No.1	No.2	No.3	No.4	No.1	No.2	No.3	No.4	
50	IC	1,925	1,896	1,789	1,710	1,630	1,551	1,734	1,666	1,585	1,529
	ESC	104	101	97	95	93	90	87	85	80	76
	SPP	18.6	18.7	18.5	18.1	17.6	17.1	20.0	19.6	19.9	20.0
	NPV	1,739	1,677	1,639	1,667	1,718	1,742	1,244	1,274	1,147	1,086
60	IC	2,199	2,164	2,036	1,941	1,845	1,750	1,970	1,888	1,792	1,724
	ESC	116	113	109	107	105	103	99	97	91	88
	SPP	19.0	19.1	18.7	18.2	17.6	17.0	20.0	19.5	19.6	19.5
	NPV	1,866	1,794	1,792	1,868	1,923	2,002	1,418	1,467	1,370	1,331
70	IC	2,329	2,288	2,139	2,027	1,916	1,805	2,061	1,966	1,853	1,774
	ESC	126	123	119	117	115	113	109	107	102	99
	SPP	18.6	18.6	17.9	17.3	16.7	16.0	19.0	18.4	18.2	18.0
	NPV	2,109	2,072	2,132	2,211	2,291	2,399	1,748	1,824	1,775	1,760
80	IC	2,459	2,412	2,241	2,114	1,987	1,860	2,153	2,043	1,915	1,825
	ESC	134	132	127	126	123	121	118	116	111	107
	SPP	18.3	18.3	17.6	16.8	16.1	15.3	18.3	17.6	17.3	17.0
	NPV	2,307	2,274	2,350	2,485	2,598	2,729	2,040	2,139	2,095	2,093
90	IC	2,589	2,536	2,344	2,201	2,057	1,914	2,244	2,121	1,977	1,875
	ESC	141	139	135	133	131	129	125	123	118	115
	SPP	18.4	18.2	17.4	16.6	15.7	14.9	17.9	17.2	16.7	16.3
	NPV	2,417	2,422	2,530	2,691	2,852	2,991	2,234	2,363	2,367	2,386
100	IC	2,718	2,659	2,446	2,287	2,128	1,969	2,335	2,199	2,039	1,925
	ESC	147	145	141	139	137	136	132	130	125	122
	SPP	18.5	18.3	17.4	16.4	15.5	14.5	17.7	16.9	16.3	15.8
	NPV	2,498	2,492	2,665	2,856	3,041	3,227	2,407	2,561	2,593	2,636
110	IC	2,928	2,863	2,628	2,453	2,278	2,103	2,506	2,356	2,180	2,056
	ESC	153	151	146	145	143	141	138	136	131	128
	SPP	19.2	19.0	18.0	17.0	16.0	14.9	18.2	17.3	16.6	16.1
	NPV	2,404	2,407	2,612	2,830	3,048	3,263	2,404	2,575	2,638	2,697
120	IC	3,057	2,987	2,731	2,540	2,349	2,158	2,598	2,434	2,242	2,106
	ESC	157	155	151	150	148	146	143	141	136	133
	SPP	19.4	19.2	18.0	17.0	15.9	14.8	18.2	17.3	16.4	15.8
	NPV	2,400	2,433	2,683	2,926	3,166	3,409	2,490	2,687	2,797	2,876
130	IC	3,187	3,110	2,833	2,626	2,420	2,213	2,689	2,512	2,303	2,156
	ESC	161	160	156	154	152	151	147	146	141	138
	SPP	19.8	19.5	18.2	17.0	15.9	14.7	18.3	17.2	16.3	15.6
	NPV	2,373	2,417	2,723	2,993	3,269	3,541	2,549	2,792	2,914	3,037
140	IC	3,317	3,234	2,936	2,713	2,490	2,268	2,781	2,589	2,365	2,207
	ESC	165	163	160	158	156	155	151	150	145	142
	SPP	20.1	19.8	18.4	17.2	15.9	14.7	18.4	17.3	16.3	15.5
	NPV	2,326	2,379	2,743	3,045	3,341	3,641	2,595	2,860	3,027	3,151
150	IC	3,446	3,358	3,038	2,800	2,561	2,323	2,872	2,667	2,427	2,257
	ESC	169	167	163	162	160	158	155	154	149	146
	SPP	20.4	20.1	18.6	17.3	16.0	14.7	18.5	17.4	16.3	15.4
	NPV	2,275	2,341	2,721	3,072	3,397	3,727	2,633	2,900	3,098	3,259

단열재의 종류에 따른 비교에서는 모든 단열 두께에서 비드법 2종 4호가 가장 짧은 단순 회수 기간을 보였다. 단열 두께에 따른 비교에서는, 압출법 단열재의 경우가 단열두께 80 mm와 90 mm에서 단순 회수 기간이 짧았다. 비드법 단열재는 100 mm의 단열 두께에서 가장 짧은 단순 회수 기간이 나왔다. 또한, 압출법 단열재는 단열 두께가 두꺼워질수록 단순 회수 기간이 증가하였으나, 비드법 단열재는 단열재의 두께가 두꺼워져도 초기 비용의 증가에 상응하는 에너지 절감 효과로 인해 단순 회수 기간의 증가가 크지 않았다.

현재가치로 환산한 순이익에서는 단열성능이 떨어지는 단열재가 순이익이 낮게 나타났다. 또한, 단열재의 두께가 증가하면 에너지 절감 비용이 증가함에 따라 전체 순이익이 증가함을 알 수 있다. 이는 단열 두께를 증가시킴으로써 열손실이 감소되어 에너지 비용의 절감효과가 초기 투자 비용을 상회하는 것임을 보여준다. 또한, 동일한 단열 두께에서의 순이익에 대한 비교에서는 비드법 2종 4호가 가장 좋은 순이익을 보여준다.

마지막으로 투자 비용 대비 효용을 분석하는 비용편익 분석의 결과를 Figure 4에서 보여준다. 비용 편익 분석은 비용과 이익을 비교 분석하여 우선순위를 선정하거나 대안의 채택을 검토하여 투자를 결정하는 기법이다. 본 연구의 분석 대상들은 모두 1 이상의 비용편익을 보여 경제성이 있는 것으로 나타났다. 비용편익이 가장 좋은 것은 현재가치로 환산한 순이익이 가장 높은 비드법 2종 4호로 나타났다. 압출법 단열재는 단열두께가 얇은 경우에 비용편익이 높게 나타났으며, 단열 두께가 100 mm 이상일 경우에는 비용편익이 감소하는 것으로 나타났다. 비드법 1종과 2종의 경우에는 100 mm의 두께에서 비용편익이 가장 높게 나왔으며, 두께가 증가하여도 비용편익의 감소는 거의 없는 것으로 나타났다.

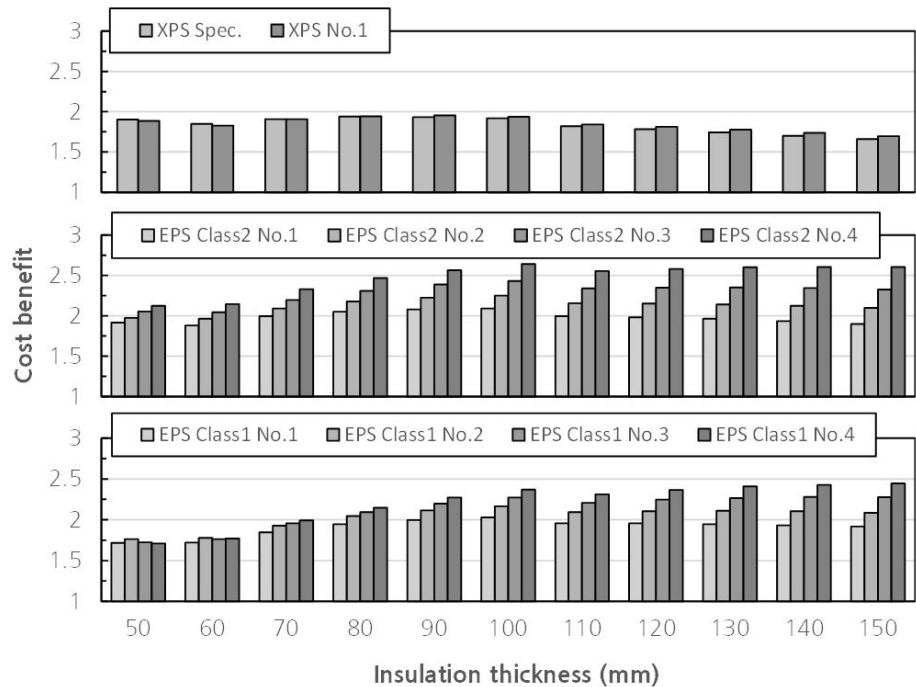


Figure 4. Cost benefit analysis

결론

본 연구에서는 노후 건축물 그린 리모델링을 대상으로 경제성을 고려한 단열재 대안의 선택 방법을 제시하기 위하여 초기 투자비와 에너지 절감 비용에 대한 복합적인 분석을 수행하였다. 단열재의 종류와 설치 두께에 따른 초기 투자비를 산정하고, 에너지 해석을 통하여 리모델링전과 비교한 에너지 절감 비용을 계산하였다. 이를 바탕으로 단순 회수 기간과 비용편익 분석을 수행하였으며 연구의 결과는 다음과 같다.

단열재의 종류는 압출법 특호와 1호, 비드법 2종과 비드법 1종은 1호부터 4호까지를 분석 대상으로 하였으며, 단열재의 단열두께에 따른 재료비와 시공비는 물가정보와 건설공사 표준시장단가를 바탕으로 산출하였다. 건물의 에너지비용은 ISO13790을 바탕으로 만든 Energy# 프로그램을 이용하여 용도별 에너지 요구량을 계산하였고, 2022년 10월 기준의 에너지 요금제로 에너지 비용을 산출하여 기존 건축물과 비교하여 경제성 분석을 수행하였다.

분석대상 건물의 에너지 비용 중에서 60%를 난방과 급탕(도시가스) 용도로 사용한 비용이었다. 상대적으로 에너지 요구량의 비율이 4.7%로 낮은 난방에 대한 에너지 비용은 여름철 전력 사용에 따른 누진제로 전체 에너지 비용의 10.8%를 차지하는 것을 알 수 있다.

단열재의 종류와 두께를 다르게 하여 계산된 벽체의 열관류율과 초기 투자 비용의 관계를 분석하였다. 단열 두께를 고려하지 않고 동일한 단열성능을 얻기 위한 대안으로는 비드법 2종의 단열재가 초기 투자 비용이 낮았다. 단열 두께를 고려한 경우에는 단열성능이 우수한 압출법이 초기 투자비 대비 단열성능이 가장 우수하게 나왔다. 에너지 절약 설계기준을 만족하는 단열성능을 얻기 위한 대안에서는 비드법 2종 4호를 140 mm 시공하는 것이 가장 낮은 초기 투자 비용을 보였다.

단순 투자 회수 기간을 분석한 결과, 초기 투자 비용이 가장 낮은 비드법 1종 4호의 단열재를 적용한 대안이 회수 기간이 가장 짧았다. 하지만, 현재가치로 환산한 순이익에서는 비드법 2종 4호 단열재가 순이익이 많음을 알 수 있었다. 또한, 비용 편익 평가에서는 모든 대안이 비용편익 1을 넘어 경제성을 가지고 있음을 알 수 있었고, 상대적으로 비드법 2종의 100 mm 두께 시공이 비용편익이 가장 높게 나타났다.

본 연구에서는 단열재의 종류와 두께에 따른 리모델링의 경제성을 분석하였으며, 초기 투자 비용, 단열 두께, 에너지 절약 설계기준에 따른 각각의 조건에 대하여 다양한 경제성 분석을 수행하였다. 하지만, 분석 대상이 외벽의 단열에 제한되었다는 점과 공사비의 산출에서 단열 시공전의 준비단계와 마감공사의 비용 등이 반영되지 못하였다는 단점을 가지고 있으며, 리모델링 분석 대상을 어떻게 설정하느냐에 따라 기준 에너지 사용량의 차이가 발생할 수 있으며, 그로 인한 단열재 대안의 적용에 따른 경제성이 변할 수 있다는 한계를 가지고 있다. 하지만, 본 연구에서는 경제성 분석의 방향으로 기존 연구들에서 사용한 제한된 대안에 대한 분석이 아닌 광범위한 대안 분석을 통하여 에너지비용의 최대 절감, 짧은 단순 회수 기간, 높은 비용편익 등의 우선순위에 따라 최선의 대안이 다를 수 있다는 점을 확인하였다. 후속 연구를 통하여 창호와 기밀성능, 그리고 고효율 냉난방 설비 등과 같은 다양한 그린 리모델링의 대안을 반영할 수 있는 연구와 리모델링 대상 건축물의 조건에 따라서, 리모델링의 목적에 따른 최적 대안을 찾을 수 있는 방법에 대한 연구를 수행하고자 한다.

후기

이 연구결과물은 2022학년도 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 것임.

References

1. Bae, S. (2016). Introduction of ISO 13790 based passive house energy analysis program (Energy#). SAREK Journal, 45(9), 56-64.
2. Han, S.H., Kim, G.T., Cho, G.H., Kim, J.Y. (2017). A Study on the Analysis of the Energy Saving Potential of Existing Apartment Houses Considering Insulation Performance and Construction Cost. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(1), 37-44.
3. Hwang S.H. (2019). Alternative Selection Method for Energy Efficiency Improvement of Old Detached House. Journal of the Korean Solar Energy Society, 39(2), 45-55.
4. Hwang, S.H. (2022). An Analytical Study on Heating and Cooling Demand Using Cool Roof System in Deteriorated Single Family House. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 16(4), 321-332.
5. Kim, J.W., Song, Y.W., Choi, Y.K. (2014). A Case Study on Estimation of Energy Efficiency and Economic Feasibility for Energy-Saving Remodeling of Small-sized Houses. Korean Journal of Construction Engineering and Management, 15(3), 92-102.
6. Kwon, O.I., Park, J.I., Lee, D.S., Jung, H.R., Ji, C.Y., Choi, M.S. (2021). An Analysis of Additional Construction Cost for Low Energy Small-Scale Houses. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(6), 671-684.
7. Seo, D.H., Noh, B.I., Ihm P.C. (2014). A Research on Prototypical Apartment House Definition for Detailed Building Energy Simulation. Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, 16(6), 285-296.
8. Shin, H.R., Lee, S.E., Hong, E.B., Jang, Y.E., Lim, J.Y. (2021). Development of a Construction Cost Prediction Model for Retrofit of Net-Zero Energy Building at the Insulation Work Phase. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(6), 794-805.
9. Yeom, J.R., Bae, S.M., Kim, D.Y., Nam, Y.J. (2021). Feasibility Analysis on the Green-remodeling of Small-scale Housing. KIEAE Journal, 21(1), 73-80.
10. Lee, T.K., Lee, K.H., Ahn, Y.H., Chae, C.U. (2013). Improvement of the Existing Repair Cycle and Ratio in the Long-term Repair Program of the Apartment in Korea. Proceeding of Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, 33(2), 31-32.
11. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2022) Construction Standard Market Unit Price for Construction Type and Unit Price in Second half of 2022.
12. Economic Statistics System(Bank of Korea) (ECOS). (2022). Available at: <http://ecos.bok.or.kr>.
13. Korea City Gas Association (KCGA). (2022). Available at: <http://www.citygas.or.kr>.
14. Korea Electric Power Corporation (KEPCO). (2022). Available at: <http://cyber.kepco.co.kr>.
15. Korea Price Research Center (KPRC). (2022). Available at: <http://www.kprc.or.kr>.