

중부지역 표준주택 리모델링 생애주기 경제성 분석

이병연
숭실대학교 건축학부
e-mail:ecoville@ssu.ac.kr

Life-cycle Economic Evaluation for the Refurbishment of Prototype House in the Korean Middle Region

Byungyun Lee
School of Architecture, Soongsil University

요약

본 논문에서는 리모델링을 통한 이산화탄소 배출절감을 달성하기 위한 장기적인 비용-성능체계를 확립하고 이를 실질적으로 분석하여 리모델링의 경제적 편익을 분석하여 향후 정책추진방향을 모색하는 것을 목표로 한다. 이를 위하여 중부지역의 2000년 이전 준공된 표준 주택모델의 리모델링 경제성을 평가하였으며, 최적 대안을 모색하기 위하여 1) 리모델링 비용체계 구축, 2) 리모델링 후 에너지 비용 절감 체계 3) 최적화 기법을 활용한 파라메트릭 분석을 진행하였다. 비용-성능에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 000 이었으며, 최적 대안은 30년간의 생애주기를 기준으로 총 투자비용 대비 에너지 절감액이 0.129 - 0143 범위를 나타내어 건축주의 자발적인 투자에 의존하는 리모델링 정책에 한계가 있으며, 거시적인 적극적인 정부 보조금, 부동산 가치 평가 인증 등의 추가적인 정책 개발이 시급함을 확인하였다.

1. 서론

전세계 이산화탄소 배출 절감을 위한 노력이 진행되고 있으며, 신축건물 중심으로 신기술을 통한 이산화탄소배출 절감 목표 달성은 시장 참여자들의 기존 건물에 대한 획기적인 멸실 및 신축건물로의 전환이 담보되지 않는 한 달성이 어렵다. 이를 극복하기 위하여 리모델링을 통한 기존 건축물의 에너지 효율 증대와 이를 통한 이산화탄소 배출 절감 목표 달성을 새로운 전략으로 수립하였다[1].

리모델링의 특성상 시장 참여자들이 비용투입에 따른 장기적인 편익을 명확하게 알리고 이를 통해서 리모델링을 결심할 수 있는 투명한 비용-장기성능 평가 방법론이 요구되었으며, 이를 위하여 EU는 2010년 No 244/2012를 제정하여 적정 비용으로 최선의 에너지 및 이산화탄소 배출 절감 모델을 선정할 수 있는 체계를 법제화하였다[2]. 국내에서도 관계부처 합동 온실가스 배출절감 정책에서 기존 건축물 에너지성능 향상을 통해 2030년까지 9.6백만톤의 이산화탄소 배출 절감을 목표로 기술개발과 함께 도시재생사업과의 연계, 민간이 자지원사업의 확대 등의 정책 목표를 제시하고 있다[3].

이러한 국가적인 장기 정책에 맞추어 실질적으로 리모델링 시장이 활성화되기 위한 투명한 비용-성능 정보 제공이 미흡

하여 리모델링에 따른 비용과 이에 따른 장기적인 경제적 편익 정보를 체계화 하고 이를 비용과 편익을 장기적으로 평가할 수 있는 평가법의 보급이 필요하며, 본 논문에서는 리모델링 평가 구조를 제시하고, 이를 실제 중부지역 표준 주택 모델에 적용하여 비용-성능 평가와 이에 따른 장기 과제를 발굴하는 것을 목표로 한다.

2. 리모델링 비용-성능 평가 구조

2.1 리모델링 비용-성능 장기 평가법

비용합리적인 리모델링 대안을 모색하기 위하여 다양한 평가법이 개발되었다. Global Cost, Net Present Value, Delta Life-Cycle Cost 등의 평가법이 개발되었으나, EC 법령 체계를 기준으로 한 Net Present Value 평가법이 다수 연구에서 대안으로 정착하고 있다[4-6]. 식 (1)에서와 같이 순현재가치평가법(net present value)은 생애주기동안 유입 유출되는 현금 흐름을 현재가치로 평가하는 방식으로, 기존 global cost 평가법을 활용하면 기존 건물의 경우 초기투자비용이 없고, 높은 수준의 에너지 비용을 지불하고, 리모델링 대안은 초기 투자비용을 투입하여 에너지 비용을 절감하게 되며, 기존 총비용(G_g existing)과 리모델링 대안(C_g EER)의 차이로 산정이 가능하다.

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{Cash(In) - Cash(Out)}{(1+r)^t}$$

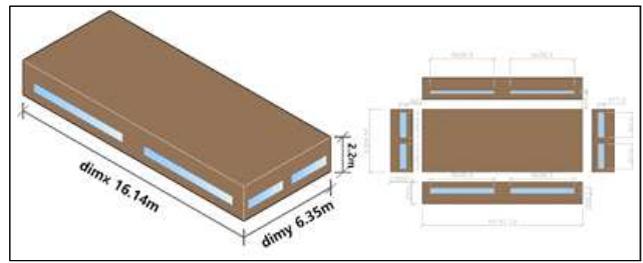
$$= \Delta C_g = C_{g \text{ Existing}} - C_{g \text{ EER}} \quad (1)$$

2.2 리모델링 비용-성능 최적 대안 선정

리모델링 비용-성능 최적 대안을 선정하기 위하여 비용측면에서는 리모델링에 투여되는 부위별 표준 구법을 산정하고 이에 소요되는 비용을 자재비, 노무비, 경비로 세분화하여 정립한 리모델링 비용 데이터베이스를 구축하고 활용하였다. 에너지 성능평가와 이를 통한 에너지 비용 변화를 평가하기 위하여 표준모델의 에너지성능은 엑셀 기반으로 ISO 13790 건물에너지평가를 수행할 수 있는 에너지샵을 활용하여 월별 에너지원별 사용량을 분석하고 2021년 기준 전기, 도시가스 가격을 적용하여 기존 대비 리모델링 대안의 에너지비용 절감을 분석하였다.

일차적으로 구축된 엑셀기반 초기투자비용-에너지비용 분석화일을 최적화 분석 도구인 Mode-Frontier와 연동하여 주요 변수인 부위별 단열재 두께, 창면적비율, 창호 SHGC 변화를 변수로 최적의 대안을 파레토 기법을 통해 도출하여 진행하였다(그림 1). 각 구법에 대하여 1,000 개의 대안 모델을 비교 평가하였고, 이를 통해 파레토 대안 모델을 선정하였다.

성능 개선, 창호 SHGC 최적화 선정의 최적화를 진행하였다.



[그림 2] 중부지역 중형주택 표준모델 도식

리모델링에 따른 최적 비용-성능 대안을 도출하기 위하여 표 1에서와 같이 주요 건축부위에 따라 최소 현행 법규 수준의 단열 기준을 충족하는 최소 최대 적용 범위를 산정하였으며, 각 향별 창호의 SHGC는 0.3-0.7 범위를 적용하였다.

[표 1] 주요 건축부위 기존 건물 및 최적 대안 분석 범위

	기존	리모델링	
		최소	최대
wwr_n	0.1	0.1	0.3
wwr_e	0.21	0.2	0.6
wwr_s	0.2	0.2	0.6
wwr_w	0.24	0.2	0.6
wall_ins	99.5 mm	160 mm	320 mm
roof_ins	88 mm	180 mm	260 mm
flood_ins	124 mm	150 mm	260 mm
infiltration	1.2	0.34	

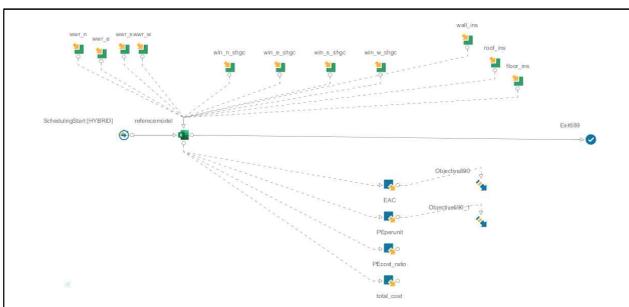
이러한 기하학적 모델에 창호, 외벽, 지붕, 바닥의 기존 건물 철거, 리모델링 자재 시공을 위한 구법을 표 2에서 정리하여 비용 데이터베이스를 구축하였다. 특히, 창호 공사에서는 선형 열교를 방지하기 위한 창호-벽체 결합부의 탄성 열교방지재를 적용하고, 지붕의 경우 방수 공사를 재 시공하는 것을 기본으로 산정하였다.

3.2 장기 경제 지표

3.2.1 할인율

건축물 리모델링을 통한 생애주기 현재가치 평가법에 의한 경제성 평가는 현재 가치로 환산된 미래 에너지 절감 효과를 현재 투입되는 리모델링 초기 투자비용과 비교하여야 하므로, 미래 가치를 현재 가치로 환산하기 위해 할인율을 계산하여야 하며, 정확한 할인율은 식 (1) 과 같이 이자율과 소비자물가지수의 변화를 통해 계산할 수 있다.

$$d = (1+i / 1+f) - 1 \quad (1)$$



[그림 1] 리모델링 비용-성능 최적화 체계(Mode-Frontier)

3. 중부지역 표준주택 리모델링 비용-성능 최적 모델 도출

3.1 대상 주택 및 리모델링 주요 변수

분석대상인 중부지역 표준주택은 에너지 사용량 통계에 의한 캘리브레이션을 통해 구축하된 모델을 기반으로 작성하였다. 중부지역에서 2000년대 준공한 주택은 가로길이 16.14미터, 세로길이 6.35미터, 높이 2.2미터를 갖고, 남측이 동남측으로 39도 회전한 형태를 갖고, 창면적비율은 북,동,남,서 각 각 0.1, 0.21, 0.2, 0.24 이다(그림 2) 이러한 표준주택에 대하여 벽체, 지붕, 바닥의 단열성능 향상, 창호교체와 이를 통한 침기

[표 2] 리모델링 부위별 공종별 자재비, 노무비, 경비 비용체계 (2020년 교육청 일위대가 기준)

품 명	규 격	단위	자재비	노무경	노무비	경비
			단가	비소계	단가	단가
1-1 중소기업 이중창						
a) 기존창호 철거	(교육청 일위대가)	m2		13,829	13,829	
b) 창호설치	(기업 견적)	m2				
c) 우레탄폼충진	(교육청 일위대가)	m	450	2,147	2,147	
d) 기밀테이프	(기업 견적)프로클리마 내외부테입+탄성도막가변형방승제	m	5,200	2,600	2,600	
	둘레길이	m	5,650	4,747		
	창면적	m2		13,829		
1-2 대기업 시스템창						
a) 기존창호 철거	(교육청 일위대가)	m2			13,829	
b) 창호설치	(기업 견적)	m2				
c) 우레탄폼충진	(교육청 일위대가)	m	450		2,147	
d) 기밀테이프	(기업 견적)P사 외부테입+탄성도막가변형방승제	m	5,200		2,600	
	둘레길이	m	5,650	4,747	4,747	
	창면적	m2		13,829	13,829	
2-1 외벽- 외장철거후 단열 재시공 (마감공사 포함) / 비드법 보온판						
a) 기존 외벽 수장재 철거 표준품셈 유지보수 공사중 무근 콘크리트	156,731/d * 0.78 * 0.1(0.5B적용)	m2			12,225	
	138,290/d * 0.333 * 0.1(0.5B적용)	m2			4,563	
	290/h * 3.77 * 0.1(0.5B적용)	m2				109
b) 기존단열재 철거	표준품셈 유지보수중 건축물 구조체별 철거 (벽) : 텍스 합판 적용	m2			4,867	
c) 바탕만들기	특별인부 166,063 X 0.05인	m2			8,303	
d) 단열재 시공 / 비드법	170T X 1,000 X 1,000 mm 비드법 1종3호 (밀도 20, 열전도율0.036)	m2 mm	130			
		m2			6,415	
d) 외장 마감재 시공	조적 마감(치장벽돌)	m2	32,667		49,695	
	단열재 체적	m2 mm	130			
	외벽 면적	m2	32,667	86,177	86,068	109
3-1 지붕- 평지붕 방수철거후 방수공사 후 단열재 및 보호층 [역전지붕/시트방수] (압출법 특호 0.027)						
a) 기존평지붕 방수,마감철거	기존 방수층, 보호층 철거=제11장 유지보수공사 (154 Page)	m2			42,582	
b) 구배몰탈 시공	배수용 구배몰탈 (평균두께 30mm)	m2	2,390		650	
c) 방수공사(방수시트)	TPO 방수시트 공사	m2	21,500		16,929	
d) 단열재 시공 (벽산)	180T X 1,000 X 1,800 mm 아이소핑크 - 특호	m2 mm	150			
		m2			23,341	
e) 단열재 보호층 시공(배수판)	바닥용 배수판 30mm -방습부직포 포함	m2	7,200		33,784	
f) 지붕마감 (배수판위 투수블록)시공	일반 투수블록 20mm 시공 / 다공성블록 / 회색	m2	20,000		2,671	
		m2 mm	150			
		m2	51,090	119,957	119,957	
4-1 기존바닥난방 교체 후 습식 바닥난방 설치						
a) 기존바닥난방 철거	모르터 회반죽 플라스터 철거 단가 적용	m2			16,594	
b) 바탕만들기	특별인부 166,063 X 0.05인	m2			8,303	
c) 단열재 시공 (벽산)	240T X 1,000 X 1,800 mm 아이소핑크 - 특호	m2 mm	150			
		m2			6,415	
d) XL D15	4m/m2 * (456+7828)	m2	1,824		31,312	
e) 방통 매쉬포함		m2	6,640		11,319	
f) 비닐시트(2.0mm)		m2	10,666		3,885	
		m2 mm	150			
		m2	19,130	77,828	77,828	

[표 3] 중부지역 표준모델 리모델링 최적 비용-성능 대안 파레토 대안 모델

Id	insulation			window SHGC				Window Wall Ratio				EAC	Energy cost_ratio	Primary Energy perunit	initial cost
	floor	roof	wall	east	norht	south	west	east	norht	south	west				
587	150	180	260	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	1,499,093	0.143	92.00	48,512,742
911	150	200	320	0.3	0.3	0.6	0.3	0.2	0.1	0.2	0.2	1,516,918	0.141	88.34	48,954,489
945	150	260	320	0.3	0.3	0.7	0.3	0.2	0.1	0.225	0.2	1,569,898	0.129	86.85	49,960,662

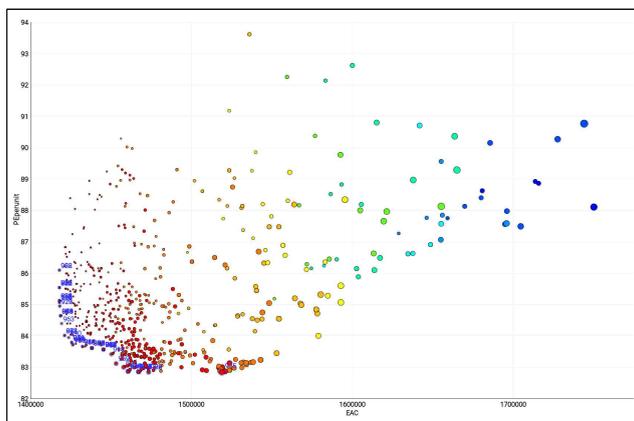
여기서 d는 할인율(discount factor)이며, I는 이자율(interest rate), f는 소비자 물가지수(inflation rate)이다. 한국은행과 통계청의 2001년부터 2020년 20년간 기준 이자율과 소비자 물가지수의 변동은 그림1과 표 1과 같으며, 이를 연평균 상승률로 환산하면, 이자율 2.65%와 소비자 물가지수 2.12%로 20년 가격 변동에 의한 할인율은 0.52%로 추산할 수 있으며, 이를 장기 경제성 평가의 지표로 활용한다.

3.2.2 에너지 가격 변동률

주택에서 사용되는 전기요금 및 도시가스 요금은 한전과 서울지역 주택 난방용 도시가스 요금의 변화를 사용하였으며, 전기요금의 경우 당시 누진제 적용에 따른 사회적 합의로 급격한 가격하락이 있어 2001년에서 2016년까지 변동률을 적용하여 전기요금 연평균 8.4% 상승, 도시가스요금 연평균 0.58% 상승을 적용하였다.

4. 비용-성능 최적 대안

3장의 비용-성능 평가체계에 따라 모드 프런티어를 활용한 최적 비용-성능 분석 모델은 아래 그림 3과 같다. 대안 모델 중 파레토 대안에 해당하는 주요 대안을 정리하면 표 3과 같다. 대안모델에서 창면적 비율은 상대적 투자 비용이 높은 창면적 비율을 최소한으로 북측 0.1과 이외 방향 0.2로 유지하면서 지붕 단열성능의 변화를 통해 대안모델이 형성되었다. 결론적으로 리모델링을 통한 경제적인 편익은 없었으며, 초기 투자비용 대비 최대 에너지 절감율은 0.143으로 나타났다. 결국 최적 비용-성능을 나타낸 모델도 30년간 연평균 149만원 을 지속적으로 투자하여야 하는 것으로 분석되었다.



[그림 3] 최적 대안 연평균 투자비용 대비 에너지 성능 산포도

5. 결론

본 논문에서는 건물 리모델링의 장기적인 비용-성능 최적 대안 모델을 선정하기 위한 초기투자비용, 리모델링을 통한 에너지 사용량 및 에너지 비용 변화, 장기 경제 지표를 활용한 건물 생애주기 순현재가치평가 체계를 정립하였으며, 이를 통해 중부지역 표준주택 모델의 리모델링 최적 비용-성능 대안을 분석하였다.

최적 대안은 창호 면적을 최소한으로 유지하면서 합리적 대안을 모색하기 위하여 지붕 단열 성능의 변화가 주요 변화 추세로 확인되었으며, 최선의 대안도 지속적인 생애주기 동안 지속적인 투자가 필요하여, 경제성 향상을 위한 외부 지원 및 부동산 가격 상승 인증 등의 추가적인 정책 대안 모색이 필요하며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] IPCC, “Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change”, 2022, <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3> (accessed on 05 October 2022)
- [2] EC, Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating. Off. J. Eur. Union 28. 2012.
- [3] 관계부처합동, “2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안달성을 위한 기본 로드맵 수정안”, 2018
- [4] K. Perini, P. Rosasco. Cost-benefit analysis for green façades and living wall systems. 2013, Building and Environment, 70, pp.110-121.
- [5] V. Brandão et al. EPBD cost-optimal methodology: Application to the thermal rehabilitation of the building envelope of a Portuguese residential reference building. 2016, Energy and Buildings. 111, pp.12 - 25.
- [6] G. Bonazzi, M. Iotti, Evaluation of investment in renovation to increase the quality of buildings: A Specific Discounted Cash Flow (DCF) Approach of Appraisal. 2016, Sustainability, 8(3), pp.268-285.