

지역별 단독주택 에너지 절감 리모델링 전략 민감도 분석

이병연^{1*}, CHEN HAICHAO²
¹송실대학교 건축학부, ²충북대학교 건축학과

Sensitivity Analysis of Energy Efficient Refurbishment Strategies for Detached Houses in Three Climate Zones

Byungyun Lee^{1*}, HAICHAO CHEN²
¹Division of Architecture, Soongsil University
²Department of Architecture, Chungbuk University

요약 그린 리모델링 전략 수립이 기술 중심으로 진행되어 현장 상황을 반영한 맞춤형 전략 수립의 필요성이 제기된다. 본 논문은 리모델링 활성화를 위하여 현장에 적합한 리모델링 전략수립 방법론으로 민감도 분석을 통한 기술전략 평가와 활용가능성 분석을 목적으로 한다. 30평형 규모 단독주택을 대상으로 에너지플러스엔진과 모드프론티어 최적화 기법을 통합하여 활용하여 서울, 대전, 부산지역에 1980년대 이전, 1984년, 2010년 준공기준을 적용한 총 9개 모델 대상 최적화 후 민감도 분석을 통한 리모델링 전략 우선순위를 도출하였다. 1980년 이전 모델의 경우 지붕 단열성능 강화 전략이 민감도 상위 순위를 갖는 것으로 나타났다. 창호 총일사취득을 기준은 전 지역, 전 준공 시기를 막론하고 다음 상위 민감도를 갖으며, 이는 열관류율 중심 기준에서 총일사취득을 기준을 포함하는 성능 기준으로 확대될 필요가 있음을 보여준다. 대규모 철거공사를 수반하는 창면적비의 조정은 민감도가 낮아 형상 유지 리모델링의 효용을 확인하였다. 사례별 상이한 민감도 결과는 리모델링 전략 수립에서 민감도 분석을 경제성, 시공성 등의 기준 등과 함께 종합적인 리모델링 전략 수립의 가능성을 제시한다.

Abstract The establishment of a green remodeling strategy is focused on technology, so the necessity of establishing a customized strategy considering the field situation has emerged. This paper examined the technology strategy through sensitivity analysis as a methodology for guiding strategy. For a 90-square-meter detached house, nine models of the construction standards of pre-1980s, 1984, and 2010 in Seoul, Daejeon, and Busan were assessed using the optimization method that combines the energy plus engine and the ModeFrontier. Sensitivity analysis was performed, and the remodeling strategy priority was derived. For pre-1980 models, the strategy for enhancing the roof insulation performance had a significant priority. The SHGC values of the windows were found to have the next highest priority regardless of the region and the time of completion, showing that the performance standard, including the SHGC, needs to be expanded. The possibility of remodeling while maintaining the existing geometry was confirmed because the adjustment of the window wall ratio accompanying large-scale demolition works has low priority. The priorities of technology strategies in each case showed very different patterns, suggesting the possibility of establishing a remodeling strategy by a comprehensive evaluation along with economics and constructability analysis.

Keywords : Green Remodeling, Detached House, Completion Year, Optimization, Sensitivity Analysis

본 논문은 2020년 국토교통부 도시건축연구사업의 연구비지원(20AUDP-B151639-02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Byungyun Lee(Soongsil Univ.)

email: ecoville@ssu.ac.kr

Received July 21, 2020

Accepted September 4, 2020

Revised September 1, 2020

Published September 30, 2020

1. 서론

1.1 연구 배경

건물부문의 에너지절감과 온실가스배출절감은 세계 각국의 기후변화 대응 전략에서 주요 목표로 유지되고 있다. 2016년 수립된 2030 국가온실가스감축 목표를 2030년 BAU 대비 37% 감소로 확정하고 2018년 국내 감축분을 상향하는 소폭의 전략수정을 진행하면서 건물부문의 에너지 절감 목표를 상향하고, 공공건물은 물론 민간 노후 건물의 그린 리모델링을 최우선 과제로 선정하고 있다[1]. 2010년부터 국제기후변화협약에 대비하여 전반적인 온실가스 저감 건물부문 목표 달성을 위하여 건축물 에너지 효율 강화제도인 Energy Performance Building Directive (EPBD)를 실시하고 있는 유럽연합은 회원국간 공동의 에너지 절감목표 설정, 설계단계 에너지사용량 평가법, 인증방식, 준공 후 모니터링을 포함하는 광범위한 제도를 실시하고 있다[2]. 최근 유럽연합의 건축물 에너지 절감전략에서도 기존 건축물의 에너지 효율 개선 정책이 부상하고 있음을 확인할 수 있다. EPBD 제도 시행 후 15년이 지난 2017년에 실행결과 분석에 의하면 EU 전체 온실가스저감량이 제도설계 초기 목표에 훨씬 미치지 못하는 것을 확인하였고, 주요 원인을 분석한 결과, EU는 다음과 같은 결론에 도달하였다. 첫째, 시장 참여자들에게 보다 이해하기 쉬운 지표를 제시하여 건축가, 시공자는 물론 건축주, 세입자, 금융전문가, 정부정보조금사용자 등을 포함하는 모든 시장참여자들이 건물에너지효율개선의 목적, 방법, 결과를 명확하게 이해시키고 참여를 독려하도록 하여야 하며 막대한 초기 투자비용이 소요되는 일회성 또는 단기 리모델링 전략보다는 목표 성능을 10-20년 안에 달성할 수 있는 장기적인 성능개선 리모델링 시나리오를 제시하여 건물주와 사용자들의 적극적인 참여 확대를 도모하기 위한 노력을 경주하고 있다[3].

이러한 건물 에너지 효율 리모델링 정책의 시장친화적 변화를 고려하여 국내 그린 리모델링 정책에서도 단계적 리모델링 전략 수립이 요구되고 있으며, 건물 리모델링 시장의 확대를 위한 부분 리모델링을 통한 장기적 제로에너지 빌딩 제도로의 전환이 요구되고 있다.

1.2 연구 목적

본 연구는 성능 향상이 필요한 리모델링 전략을 한 시점에 모두 수행하는 사업 방식에 따른 리모델링 전략 수

립 연구를 장기적인 단계별 성능 개선 방식으로 전환하기 위하여 적정 시나리오 수립을 위한 방법론을 모색하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해서 기후조건이 상이한 지역별로 외피 단열기준 주요 법령 시행을 감안한 준공연도별 주요 리모델링 요소기술을 분석하고 요소 기술들간의 우선순위를 검토하여 단계적 리모델링 전략 수립을 위한 프로세스를 정립하는 것을 목표로 한다.

2. 선행연구 및 연구방법

2.1 선행 연구

리모델링 전략 수립 관련 연구는 아직 초기 단계로 리모델링 대상 기술 선정, 요소 기술 에너지 절감 효과 검증, 요소기술 조합 전략 수립 연구로 점차적으로 확대되고 있다.

리모델링이 제도화되면서 리모델링 사업 진행 프로세스 및 적용 방법의 전체 범위 및 수행 기술들을 규정하는 것이 우선적으로 요구되었다. 리모델링 대상 건물 선정 기준을 정립하고, 기획, 계획, 설계, 시공, 운영 및 유지관리 분야에서 사업에 참여하는 주체별 수행 업무 내용을 분석하는 리모델링 사업 기획 및 업무 체계에 대한 초기 연구가 진행되었다[4, -6].

보다 세부적으로 그린 리모델링에 적용이 가능한 패시브 액티브 기술들을 외피, 조명, 열원/공조, 신재생 분야별 기술 분류하여[7], 리모델링 사업이 진행되는 경우 전반적인 사업 규모를 규정하고 확립하는 연구들이 선행되었다. 개별 기술 연구와 함께 창호 개선과 같은 세부 기술에서 공동주택 아파트 외기직접노출 및 간접노출 창호를 대상으로 전체 교체, 부분 교체, 발코니확장 여부 등의 다양한 변화 가능성을 감안한 리모델링 시나리오를 개발하는 연구[8]도 진행되었다.

이후 리모델링을 구체적으로 수행하는 요소 기술들의 개발과 이를 적용하였을 때 얻을 수 있는 성능 개선 효과들에 연구가 다수를 이루고 있다. 포괄적인 기술적용과 이에 대한 성능 효과 분석 연구[9]와 함께 리모델링 후 성능 개선이 가장 높을 것으로 예상되는 창호 교체 관련 연구가 가장 많이 이루어졌다. 열관류율 및 기밀도를 향상하여 성능개선은 물론 거주자 만족도를 평가하는[10] 연구들이 진행되어 개별 기술들의 적용 가능성을 분석하였다.

개별 리모델링 대상 건물에 대한 고정적인 성능을 갖

는 다수 기술들 조합에 따른 성능 향상 효과에 대한 연구가 진행되었으나, 기술 조합의 선정방식은 연구자에 의한 임의의 조합 방식[11], 또는 임의의 적 우선순위에 따른 누적 조합 방식[12,13]을 사용하고 있다.

단계적인 리모델링 전략을 수립하는 경우 요소기술들의 전략적 우선순위를 평가하고, 이러한 기술별 적용여부 선정 우선순위를 감안하여 기술 조합을 분석하는 것이 요구된다. 기존 임의의 선정방식에서 통계적 기술 조합방식에 따른 에너지 절감에 대한 기술별 민감도를 평가하고, 이를 통해 과학적 기술 조합 대안을 선정하는 방식의 리모델링 기술 조합 선정 프로세스의 개발이 요구된다.

2.2 연구 방법

연구는 아래의 단계를 거쳐서 진행되었다.

1) 일차적으로 분석 대상 건물을 선정하였다. 리모델링 대상 건축물 중에서 건축주 투자 여력이 열악하여 사업활성화가 저조한 단독주택을 대상으로 분석 대상 모델을 선정하였고, 준공년도 및 지역 기후 특성을 반영한 비교 분석을 위하여 서울, 대전, 부산 세 지역에 대한 분석 대상을 확정하였다.

2) 분석대상 건물을 에너지 분석을 위한 디자인빌더(Design Builder) 모델링 및 연간 에너지 성능 검증을 통해서 구축하였다. 디자인빌더는 에너지플러스(Energy Plus)에너지 해석 엔진의 민간 상용 소프트웨어로 3차원 형상 정보 및 기본 입력 변수들의 입력 인터페이스를 활용하였다. 이후 자동 최적화 분석을 위한 텍스트 파일 형태의 에너지플러스 입력파일을 작성하고 입력 변수 점검 및 연간 에너지사용량을 검토하여 입력체계를 구축하였다.

3) 분석 대상 모델에 대한 주요 리모델링 전략 선정을 진행하였으며, 형상변경과 재료변경을 포함한 리모델링 전략 변수를 확정하였다.

4) 민감도 분석을 위한 최적화 분석틀인 모드프론티어(ModeFrontier)에서 변수입력 샘플링 방식과 최적화 알고리즘을 선정하고, 변수 샘플링-에너지플러스 입력파일-결과파일 저장-최적화변수 재선정의 단계로 구성되는 최적화 자동분석체계를 구축하였다.

5) 지역별 시기별 최적화 분석을 진행하고 각 사례별 최적화 리모델링 전략별 민감도 분석을 진행하여 리모델링 우선 대책을 선정하였다. 각 지역별 준공년도별 특성을 분석하였다. 최종적으로 이러한 우선순위 방안에 의한 에너지 요구량 감소량을 검증하였다.

3. 리모델링 최적화 및 기술별 민감도

3.1 리모델링 대상 및 기술

3.1.1 주택정보 및 모델링

단독주택의 경우 형상의 다양성으로 인해 표준모델 정립 연구가 거의 진행되지 않은 점을 고려하여, 농림부와 한국농어촌공사가 개발하여 보급하고 있는 농촌주택 표준설계도 중 면적 91.16 m²에 침실 2개, 거실, 주방, 화장실 2개소, 남북 진입 현관 각 1개소를 갖는 농림-10-27-다-1 모델[14]을 기본으로 남측 벽면 요철을 최소화하여 변형한 모델을 활용하였다(Fig. 1).

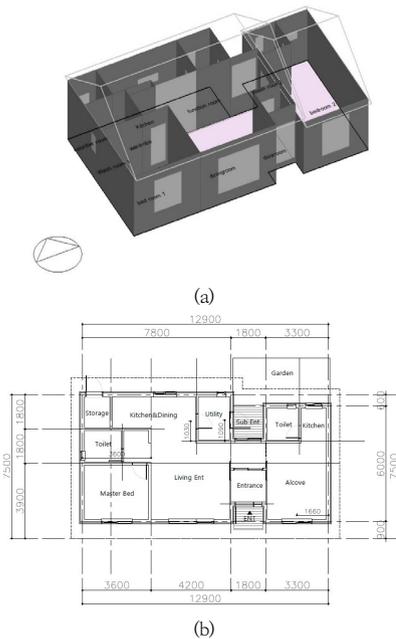


Fig. 1. Geometry of the Prototype Detached House (Nonglim-10-27-DA-1) (a) Perspective View of Design Builder Model (b) Plan of the House

3.1.2 리모델링 대상 기준모델 및 목표 단열기준

리모델링 대상 주택의 외피성능 수준을 규정하기 위하여 건물 외피 성능 기준이 최초로 정립된 1979년부터 현재까지 중부지역(중부지역 II)에서의 외기에 직접 면하는 외벽, 바다, 지붕, 창호에 대한 열관류율 기준이 변화해 왔다. 외벽, 바다, 지붕, 창호에 대한 열관류율 기준은 최초로 기준이 적용된 1979년부터 1984년, 2010년, 2016년에 주요 개정을 거쳐 2018년에는 독일 패시브하우스 기준에 상당하는 기준으로 강화되었다.

Table 1. Construction Property of Building Elements in 1979, 1984, 2010

year		U-value (W/m2K)
before 1980	wall	0.7
	window	6.6
	roof	4.6
1984	wall	0.5
	window	4.0
	roof	0.5
2010	wall	0.36
	window	2.1
	roof	0.2

분석 시기 선정에 있어서 실제 리모델링 가능성은 에너지 성능은 물론 구조성능, 공사진입로 확보 등의 시공 가능성, 목표기능수행 가능성 등의 종합적인 평가를 통해서 결정되어야 할 것으로 판단한다. 이 경우 일반적인 내구 연한을 훨씬 상회하는 1970년대 이전 건축물의 경우 분석 대상에서 제외하였다.

본 연구 분석대상은 건축물의 준공연도를 감안하여, 외피성능 기준은 외벽성능 연관 기준 제정 이전 모델과 1984년 건축물에너지절약설계기준, 2020년 현재 리모델링 대상 건물 단계로 판단되는 2010년 기준에 상당하는 외피성능을 갖는 주택들을 대표 유형으로 선정하여 외피성능을 규정하고 에너지성능 평가를 진행하였다 (Table 1).

1970년대 주택 조사에서 대부분의 경우 단열재를 적용하지 않고 주요 구조부에 마감재를 적용한 사례가 조사되고 있어[15], 외벽 및 지붕의 경우 단열재를 적용하지 않은 모델을 표준으로 적용하였다. 동일 조사에서 주택 창호의 경우 단창을 적용한 사례가 다수로 확인되어

이를 반영하여 표준모델을 구성하였다(Table 1).

리모델링 전략 수립은 기술에 따른 고정적인 순위가 될 수 없으며 기후조건에 따른 우선순위를 다시 분석하는 것이 필요하다. 이를 위해서 서울, 대전, 부산 세 지역 기후 조건을 적용하여 분석하였다[16]. 이렇게 세 지역, 세 시기에 해당하는 주택을 가정하고 이 사례들을 현재 2020년 법령 기준으로 리모델링을 하는 것을 산정하고 분석을 진행하였다.

3.1.3 리모델링 대상 모델 내부 발열 기준

주택 내 실별 거주 스케줄, 가전기기 및 조명기기 운전 스케줄은 2018년 4월 영국 EPBD 평가를 위한 건물 에너지평가 입력 데이터베이스 (UK's National Calculation Method for Non Domestic Buildings) [17]을 활용하였으며 (Table 2), 냉난방 온도는 20℃와 26℃로 설정하였다.

3.2 최적화 분석 체계

3.2.1 리모델링 대상 모델 내부 발열 기준

최적화 분석 및 결과 통계분석 통합지원도구인 ModeFrontier를 사용하여 분석을 진행하였으며, 모드 프론티어의 변수샘플링에 의한 분석사례선정 및 자동화 분석의 체계는 Figure 1 와 같이 구성하였다.

텍스트 형식의 에너지플러스 idf화일에 변수지정을 하고 자동으로 에너지플러스 시뮬레이션을 진행하여 총에너지(난방+냉방+조명에너지)요구량을 분석하였다. 최적화는 MOGA-II 알고리즘을 적용하여 1,000 케이스를 목표로 진행하였으며, 최적화 분석 후 총에너지요구량-

Table 2. Internal Gain and Schedule Lists

zone	criteria	schedule																							
		1	0.75	0.5	0.25																				
dining room	occupancy	0.0169m2/person (110W/person)																							
	lighting	6W/m2																							
	equipment	3.06W/m2																							
bedroom	occupancy	0.0229m2/person (90W/person)																							
	lighting	4W/m2																							
	equipment	3.58W/m2																							
kitchen	occupancy	0.0169m2/person (110W/person)																							
	lighting	6W/m2																							
	equipment	3.06W/m2																							

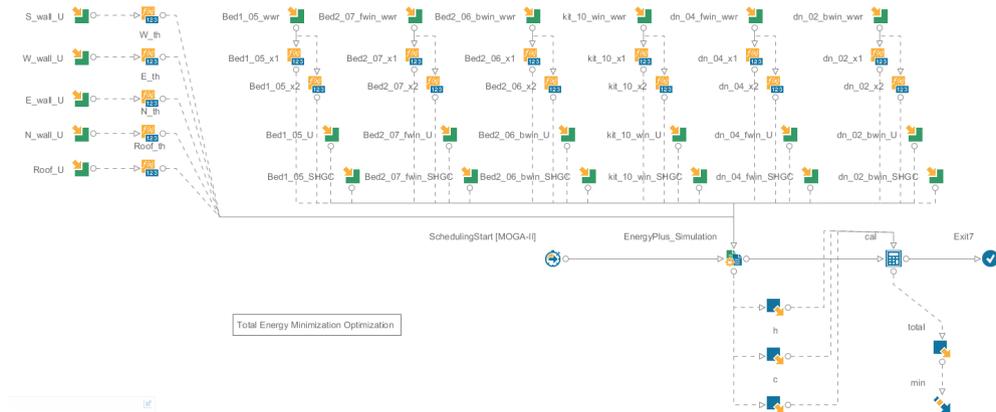


Fig. 2. Flowchart for Optimization and Sensitive Analysis Structure

변수들 사이의 민감도는 SSANOVA 알고리즘을 사용하여 분석하였다.

3.2.2 주요 변수 범위

주요 리모델링 전략 변수는 외벽, 지붕, 창호의 열관류율 개선과 함께 항별 창면적비 및 창의 SHGC 값을 최적화하는 것으로 규정하였다. 최적화에 사용된 변수는 외벽 창면적비(WWR)(거실 남측창, 거실 북측창, 침실1 남측창, 침실2 남측창), 지붕 열관류율, 외벽 열관류율(북측, 동측, 남측, 서측), 창호 열관류율 및 총일사취득율(거실 남측창, 거실 북측창, 침실1 남측창, 침실2 남측창)의 변수가 사용되었으며, 기존 조건과 2020년 법령 기준을 감안하여 변수 범위를 설정하였다(Table 3.)

Table 3. Parametric ranges in before 1980, 1984, 2010 cases

	year	lower bound	upper bound
before 1980	wall U-value (W/m ² K)	0.15	0.7
	window U-value (W/m ² K)	0.15	6.6
	roof U-value (W/m ² K)	0.15	4.6
	window wall ratio	0.1	0.85
	window SHGC	0.15	0.55
1984	wall	0.15	0.5
	window	0.15	4.0
	roof	0.15	0.5
	window wall ratio	0.1	0.85
2010	window SHGC	0.15	0.55
	wall	0.15	0.36
	window	0.15	2.1
	roof	0.15	0.2
	window wall ratio	0.1	0.85
	window SHGC	0.15	0.55

4. 주요리모델링 변수 민감도

4.1 최적화 결과

지역별 준공연도별 각 천 케이스를 목표로 최적화분석 결과 9개 모델에서 초기 변수 범위를 폭 넓게 활용하며 400 케이스 이후부터 점차 안정적으로 최적값으로 수렴되고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 3).

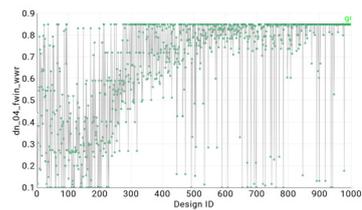


Fig. 3. Optimization Simulation History of Window Wall Ratio of Dining Room's South Facade

기존 지역별 준공연도별 총에너지 요구량은 단열재를 거의 사용하지 않은 조건인 1980년 이전 모델이 1984년 모델에 비해 서울은 66.4%, 대전은 64.6%, 부산은 73.2%가 높아 극심한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이러한 에너지 요구량의 차이는 주로 난방에너지 요구량의 변화에 기인하는 것으로 1980년대 모델에서 난방에너지 요구량을 절감하는 전략이 공통적으로 높은 전략적 우선순위를 가지게 될 것임을 확인할 수 있다. 지역적으로는 대전 지역의 경우 난방에너지 요구량은 서울과 유사하고 냉방 에너지 요구량은 부산과 유사한 패턴을 보이면서 총에너지 요구량이 서울에 비해 다소 높은 것으로 나타나 복잡한 최적화 설계가 필요한 지역임을 확인할 수 있다.

Table 4. Optimization Results and Sensitivity Analysis for Refurbishment Strategies

Constructed Year	Seoul			Daejeon			Busan		
		existing (kWh)	remodeling (kWh)		existing (kWh)	remodeling (kWh)		existing (kWh)	remodeling (kWh)
before 1980	heating	13,164	3,546	heating	12,537	3,214	heating	6,759	1,158
	cooling	2,249	1,736	cooling	3,226	2,359	cooling	3,539	2,183
	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100
	total	16,513	6,382	total	16,863	6,783	total	11,398	4,441
1984	heating	7,581	3,546	heating	7,323	3,214	heating	3,720	1,158
	cooling	1,243	1,736	cooling	1,808	2,359	cooling	1,759	2,183
	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100
	total	9,924	6,382	total	10,231	6,783	total	6,579	4,441
2010	heating	6,299	3,546	heating	6,141	3,214	heating	3,075	1,158
	cooling	1,029	1,736	cooling	1,490	2,359	cooling	1,395	2,183
	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100	lighting	1,100	1,100
	total	8,428	6,382	total	8,731	6,783	total	5,570	4,441

모든 케이스에서 최적화 대안은 동일한 외피 기하체계를 갖고 있고 2020 법령 기준으로 리모델링 하는 것으로 가정하여 리모델링 최적화안은 동일하였다.

기존 주택에서 현행 법령 기준 최적대안 모델로의 리모델링을 통해서 1) 1980년대 이전 모델들의 경우 서울은 61.4%, 대전은 59.8%, 부산은 61.0%의 절감율을 보여 약 60%의 절감 가능성이 확인되었고, 2) 1984년 모델들의 경우 서울은 35.7%, 대전은 33.7%, 부산은 32.5%의 절감율을 보여 약 34%의 절감 가능성이 확인되었으며, 3) 2010년 모델들의 경우 서울은 24.3%, 대전은 22.3%, 부산은 20.3%의 절감율을 보여 약 22%의 절감 가능성이 확인되었다. 각 지역의 기후조건이 상이함에도 준공년도별로 지역에 상관없이 거의 유사한 절감여력을 나타내었다.

법령 기준에 의한 외피 단열성능의 차이가 가져온 리모델링 절감율의 차이는 궁극적으로 리모델링 효율성에도 영향을 끼칠 수 있는데, 1980년대 이전 주택들의 경우 구조적 안정성이 확보되는 주택에 대해서는 시급히 리모델링을 추진하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 1984년 모델도 리모델링 추진으로 인한 에너지 절감 효과는 상당한 것으로 판단된다.

다만, 각 케이스에서 전체 주택 에너지요구량에서 난방에너지가 차지하는 비율이 높고, 이로 인해서 난방에너지 절감 전략이 극한으로 진행될 경우 기존 주택에 비해서 냉방에너지 요구량을 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 1984년 모델과 2010년 모델의 세 지역 모두

에서 발생하고 있으며, 특히, 1984년 부산 모델과 2010년 부산 모델의 경우는 최적화 결과 기존의 난방 우위 에너지 요구량 구성이 냉방 우위 에너지 요구량 구성으로 전환되어 거주자 쾌적성을 포함한 보다 면밀한 연구가 진행될 필요가 있을 것으로 판단된다.

4.2 전략별 민감도 분석

지역별 준공연도별 총 9개 분석대상 사례를 최적화를 진행하여 목표인 총에너지성능에 대한 입력변수들의 민감도를 SSANOVA 알고리즘을 사용하여 분석하였다. 분석 후 민감도 0.05 이상을 기록한 변수들을 유형별로 정리하였다(Table 5).

1) 1976년 모델의 경우 지붕의 열관류율 개선이 서울(0.602), 대전(0.525), 부산(0.602)으로 분석되어 다른 리모델링 전략에 비해 압도적으로 높은 민감도를 보이는 것으로 나타났다. 이는 단열이 적용되지 않은 연와조 기와지붕을 가정한 기존 주택과 2020 법령 단열기준의 성능의 차이는 물론 지붕의 외기 노출 면적이 항별 벽체보다 큰 것이 영향을 미치는 것으로 판단된다.

2) 1984년 모델의 경우에도 지붕 부위 열관류율 향상 전략은 서울(0.135), 대전(0.154), 부산(0.159)로 가장 높은 민감도를 보여서 여전히 주택 총에너지요구량에 끼치는 영향이 큰 것이 확인되었다. 그러나 다른 전략과의 민감도 격차는 급격하게 줄어들어 다른 전략들과 함께 통합적인 리모델링 전략을 수립하여야 할 필요성이 제기된다.

Table 5-1. Priority Order of Variables in three regions

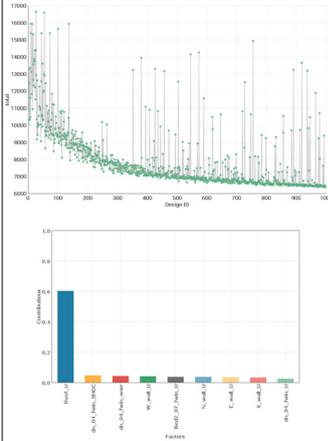
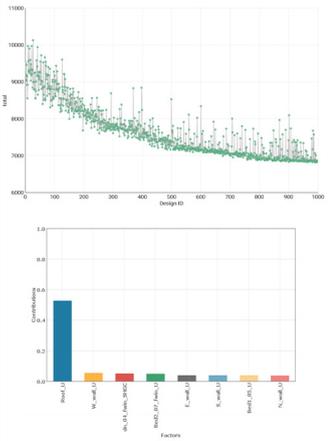
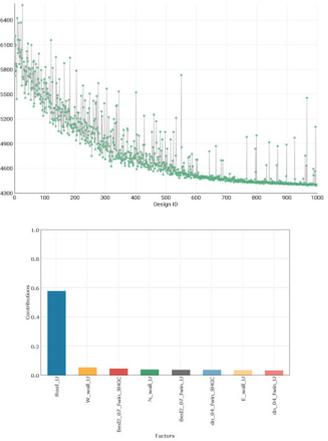
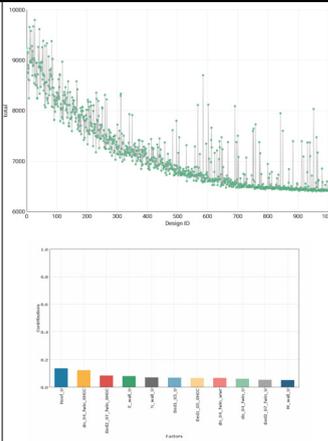
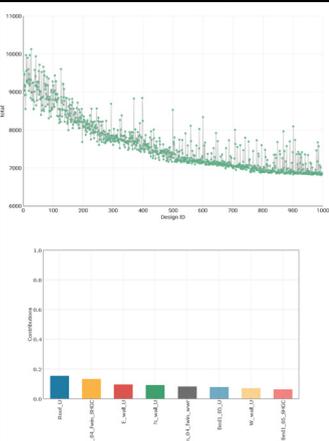
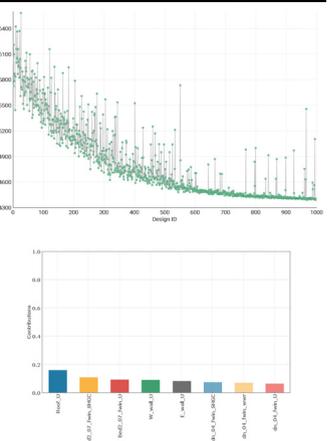
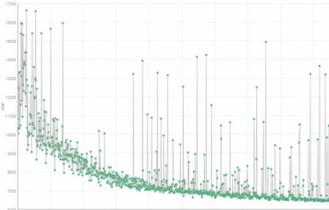
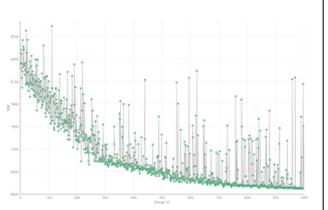
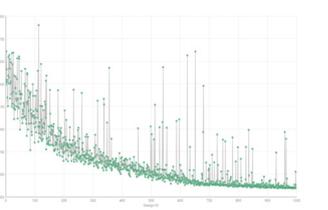
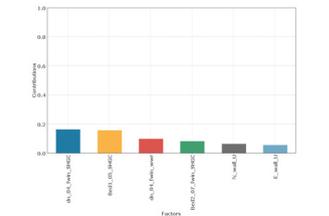
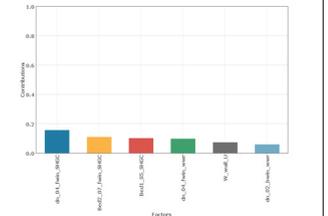
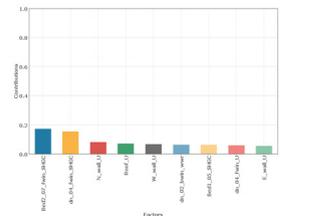
Constructed Year	Seoul	Daejeon	Busan			
before 1980						
	roof U-value	0.602	roof U-value	0.525	roof U-value	0.602
	dining window SHGC	0.047	west wall U-value	0.054	west wall U-value	0.054
	dining window WWR	0.043	dining window SHGC	0.051	bed2 window SHGC	0.044
	west wall U-value	0.042	bed2 window U-value	0.048	north wall U-value	0.039
	bed2 window U-value	0.037	east wall U-value	0.040	bed2 window U-value	0.037
	east wall U-value	0.034	bed1 wall U-value	0.039	dining window SHGC	0.037
south wall U-value	0.032	north wall U-value	0.037	east wall U-value	0.034	
-	-	-	-	dining window U-value	0.033	
1984						
	roof U-value	0.135	roof U-value	0.154	roof U-value	0.159
	dining window SHGC	0.122	dining window SHGC	0.132	bed2 window SHGC	0.108
	bed2 window SHGC	0.084	east wall U-value	0.095	bed2 window U-value	0.091
	east wall U-value	0.079	north wall U-value	0.091	west wall U-value	0.090
	north wall U-value	0.070	dining window WWR	0.082	east wall U-value	0.081
	bed1 window U-value	0.068	bed1 window U-value	0.079	dining window SHGC	0.073
	bed1 window SHGC	0.066	west wall U-value	0.069	dining window WWR	0.069
	dining window WWR	0.065	bed1 window SHGC	0.062	dining window U-value	0.064
	dining window U-value	0.059	-	-	-	-
	bed2 window U-value	0.052	-	-	-	-
west wall U-value	0.051	-	-	-	-	

Table 5-2. Priority Order of Variables in three regions

Constructed Year	Seoul	Daejeon	Busan
2010			
			
	dining window SHGC	dining window SHGC	bed2 window SHGC
	bed1 window SHGC	bed2 window SHGC	dining window SHGC
	dining window WWR	bed1 window SHGC	north wall U-value
	bed2 window SHGC	dining window WWR	roof U-value
	north wall U-value	west wall U-value	west wall U-value
	east wall U-value	dining bwindow WWR	bed1 window SHGC
	-	-	dining bwindow WWR
	-	-	dining window U-value
-	-	east wall U-value	

3) 지붕 단열성능 강화 다음으로 전반적으로 다종의 사례에서 민감도가 높은 전략은 거실 창의 총일사취득율이다. 2010년 서울(0.156), 2010년 대전(0.157), 2010년 부산(0.172)로 가장 높은 민감도를 보였다. 1984년 모델에서도 서울(0.122), 1984년 대전(0.132), 1984년 부산(0.108)로 두 번째로 높은 민감도를 보였으며, 1980년 이전 모델에서도 서울(0.047), 대전(0.051), 부산(0.044)로 높은 순위를 나타내었다.

특히, 단열기준이 강화된 2010년 이후의 경우 현행 법령상 단열 성능과의 차이가 상대적으로 작고, 이로 인해 다른 전략보다 창호 총일사취득율을 적절하게 조절하는 것이 에너지 성능에 큰 영향을 끼치는 것이며, 추후 리모델링 전략 수립에 있어서 창호변경을 최우선적인 전략으로 선정할 필요가 있음을 확인할 수 있다.

또한 현재의 법령상 창호의 열관류율만을 규정하고 있는 창호 성능기준을 총일사취득율을 포함한 기준으로 확대 개편할 필요성이 제기되는 것으로 확인된다.

4) 주택의 리모델링을 위한 실제 공사를 감안하면 창호의 면적 비율을 조정하는 것은 창호 철거, 외벽 철거 또는 추가 설치, 창호 재설치, 마감 정리 등의 복합적인

공사가 수행되어야 함으로 공사의 난이도가 상대적으로 높아질 수 밖에 없다. 그런데 주요 실의 창면적비의 조정은 외벽 창호크기 등의 조정이 상대적으로 민감도 순위에서 후순위를 감안하면 본 분석 대상 주택의 경우 창호 크기를 조절하는 등의 대규모 공사없이, 기존 형상을 유지하고 각 부위별 성능을 개선하는 것으로도 적정 수준의 에너지 절감 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

5) 동일한 기술 항목을 가지고 지역 기후 및 기존 외피 성능이 상이한 총 9 가지 사례를 대상으로 한 분석은 동일한 리모델링 전략이 각 사례에서 동일한 수준의 에너지 사용량 절감 민감도를 나타내지 않는다는 점을 잘 보여주고 있다. 이는 에너지 절감을 목표로 하는 주택 리모델링 계획에서 특정 기술의 우선순위를 공통적으로 제시하는 것이 합리적이지 않으며 매 사례별로 본 연구에서 제시한 것과 같은 우선순위를 결정하고, 그러한 분석 결과를 바탕으로 다양한 리모델링 전략의 조합을 계획하는 것이 필요함을 잘 보여준다.

또한 이러한 각 전략들의 에너지 절감 민감도와 함께 투자비용, 공사 난이도 등과 같이 계획 방향에 큰 영향을 줄 수 있는 다면 평가를 통해서 제시된 우선순위의 조정

을 통한 실행전략 우선순위 평가가 가능하다. 본 연구에서 제시한 전략별 우선순위는 그러한 다면 평가에서의 보다 합리적인 논의의 장을 마련할 수 있다는 실용적인 가능성도 제시된다.

5. 결론

본 연구는 에너지절감을 위한 리모델링 계획 수립시 부위별, 기술별 전략들의 최종 에너지 절감 목표에 대한 민감도를 분석하고 이를 토대로 기후조건 및 다양한 현장 상황에 맞는 기술조합을 설정하는 방법론을 모색하기 위한 연구이다.

단독주택을 대상으로 기후조건이 다른 서울, 대전, 부산 세 지역과 단열성능 기준이 확연하게 차이를 내는 1980년 이전, 1984년, 2010년 세 준공연도 조합의 총 9개 사례를 대상으로 2020년 기준을 적용한 리모델링 계획 수립을 가정하고 최적화를 진행한 하고, 최적화 모델의 기술전략별 민감도를 분석하였다.

에너지플러스 모델과 최적화 지원 및 분석 도구인 모드프론티어를 결합한 분석체계를 구축하여 에너지해석, 에너지절감 최적화, 민감도 분석을 진행하였다.

사례별 기술전략 민감도 분석 결과 1980년대 이전 모델에서는 매우 취약한 지붕 단열 성능으로 인해서 지역에 상관없이 매우 높은 격차로 지붕단열강화 전략이 가장 높은 민감도를 보였다.

다음으로 전반적으로 민감도가 높게 나타난 기술전략은 남측 창호의 충일사취득율로 현행 열관류율 중심 법정 기준의 확대가 요구된다.

다른 기술 전략에 비해 상대적으로 복잡성을 갖는 창면적비율의 조정은 상대적으로 크게 높지 않아 기존 형상을 유지하는 리모델링 전략의 유효성을 확인하였다.

9개 분석 대상 모델에서 리모델링 기술 전략별 민감도가 상이한 양상을 띄고 있는 것으로 분석되었으며, 이는 본 연구에서의 민감도 분석 방법론이 기술별 우선순위 설정을 통해서 현장 상황에 적합한 다양한 리모델링 계획 수립에 활용될 수 있음을 확인되었다. 향후 와 투자 대비 에너지 절감 효과를 파악하는 경제성 평가와 현장에서의 부위별 노후도 및 시공성 평가 등을 감안한 복합적인 평가 기준을 통한 단계별 리모델링 계획 방법론으로의 확대가 요구된다.

References

- [1] Allied Ministries of Korea. The Second Strategic Plan for Coping Climate Change, 2019.
- [2] European Commission, Guidelines accompanying 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 cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building. Available From: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012XC0419\(02\)&from=EN](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52012XC0419(02)&from=EN) (accessed May 20, 2020)
- [3] Volt, Jonathan et al., Feasibility Study EPBD19a-Review of building renovation passport schemes and initiatives, 2019.
- [4] Jeong Yoon Oh, Tae Hoon Hong, Kwang Bok Jeong. "Framework for Development of Optimal Selection Model for Green Remodeling in Multi-family housing", *Proceedings of Korea Institute of Construction Engineering and Management*, pp.75-76, 2016.
- [5] Bo Rang Park, Bo Kyoung Koo, Ki Tae Kim, Keon Ho Lee. "The study on the Establishment of Green Remodeling Process", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, Vol. 8, No. 3, pp. 143-149, 2014.
- [6] Sung Jin Beack, Hong Ill Kim. "A Study on eco-friendly Remodeling Design Method for the old-age Housing", *Proceedings of 2017 Autumn Conference*, Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 2, pp.48-49, 2017.
- [7] Jung Lim Ko, Jun Woo Choi, Shin Kim, Jee Woong Shin, Keon Ho Lee. "A study of the energy saving technology classification system and performance-cost database in process of the green-remodeling business", *Proceedings of 2016 Autumn Conference*, Architectural Institute of Korea, Vol. 36, No. 2, pp.1310-1311, 2016.
- [8] Haeng Pil Jo, Ji Hyun Oh, Sun Sook Kim. "A Study on the Target Parts for Envelope Remodeling Prototype to Improve Thermal Performance of Old Multi-family Residential Buildings", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, Vol. 11, No. 1, pp. 52-57, 2017.
- [9] Sung Min Kim. "Analysis on Application of Green Remodeling Technology and Energy Saving Effect for Existing Buildings", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, Vol. 11, No. 3, pp. 238-245, 2017.
- [10] Jin Woo Jeong, Jung Hoon Ju, Dong Woo Cho. "Energy Saving Effect and Improvement of Indoor Thermal Environment through the Window Retrofit", *Journal of*

Korean Solar Energy Society, Vol. 38, No. 3, pp. 29-36, 2017.

DOI:<https://doi.org/10.7836/kses.2018.38.3.029>

- [11] Suk Min Her, Byeong Jeong Choi. "A Study on the Building Energy Efficiency Rating Changes by Enhanced Thermal Insulation Performance of Building Envelope Standards in Apartment Houses", *Proceedings of 2017 Summer Conference*, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, pp.172-175, 2017.
- [12] Yeon Ah Kim, Chang Young Park, Dae Hee Jang, Keon Ho Lee. "Comparison of Cooling and Heating Load Analysis Characteristics of the Energy Performance Assessment Tools for Green Remodeling", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, Vol. 10, No. 6, pp. 449-455, 2016.
- [13] Gi Seok Kim, You Min Kim, Jong Sung Kim, SE Gyu Oh. "Stepwise Technique for Improving Building Energy Efficiency Rating Utilizing Quantified Simulation Model", *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment Journal*, Vol. 14, No. 6, pp. 65-73, 2014.
DOI:<https://doi.org/10.12813/kieae.2014.14.6.065>
- [14] Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Korea Rural Community Corporation. Architectural Document of Prototype Rural House. Available From: http://www.returnfarm.com/cmnr/returnFarm/module/fmlglhmSnc/OLD_2/fmlglhmSncDetail.do (accessed May 20, 2020)
- [15] Rural Research Institute. Rural House Remodeling for Energy Performance Improvement. 2012.
- [16] Climate.Onebuilding Organization. FRepository of free climate data for building performance simulation. Available From: http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_2_Asia/KOR_South_Korea/index.html (accessed May 20, 2020)
- [17] UK's National Calculation Method. National Calculation Method Database. Available From: <http://www.uk-ncm.org.uk/index.jsp> (accessed May 20, 2020)

Chen HaiChao(HaiChao Chen)

[준회원]



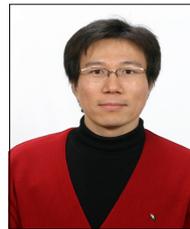
- 2019년 2월 : 충북대학교 공과대학 건축학과(건축학사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 공과대학 건축학과 석사과정

<관심분야>

친환경건축, 건축계획

이 병 연(Byungyun Lee)

[정회원]



- 1999년 2월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학석사)
- 2009년 8월 : 서울대학교 공과대학 건축학과 (공학박사)
- 2010년 9월 ~ 2020년 2월 : 충북대학교 건축학과 부교수
- 2020년 3월 ~ 현재 : 숭실대학교 건축학부 조교수

<관심분야>

친환경건축, 건축계획