

저에너지 공동주택 구현을 위한 요소기술 선정 기법에 관한 연구

Energy Saving Design Method with the Consideration of the Initial Cost for Apartment Houses

손원득*† · 이종일** · 윤대원** · 이건호*** · 송두삼****
Won-Tug Son*† , Jong-il Lee** , Dae-won Yoon** , Keon-Ho Lee*** and
Doosam Song****

(Submit date : 2013. 12. 27., Judgment date : 2014. 1. 10., Publication decide date : 2014. 4. 7.)

Abstract : So many energy saving strategies to realize the low energy house are proposed in these days. Even if the energy saving performances are similar between the strategies, the costs are in a broad ranges. Therefore, the application of the energy saving strategies should be based upon two considerations; one is energy saving performance and the other is the cost. In this study, the decision making method for application of the passive design technologies in the design stage of the low energy apartment house are suggested. By utilizing the result of this study, practitioners can make an effective design alternatives which solve the conflicted values; energy saving and cost.

Key Words : 에너지절약(Energy saving), 디자인 기법(Design method), 최적 디자인(Optimal design), 저에너지 공동주택(Low energy apartment houses), 경제성 지수(Energy saving to Cost Index)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건물에너지 절감을 위한 요소 기술의

개발 및 적용에 대한 관심이 급증하고 있다. 아울러 국내외에서 개발된 관련 요소 기술들이 소개되고 있으며, 이들 요소기술들을 적용한 저에너지 또는 제로에너지 주택들이 국내

*† 손원득(교신저자) : ㈜센솔루션, 성균관대학교
E-mail : sonwt@sensolution.kr, Tel : 070-4651-5565
**이종일, 윤대원 : ㈜센솔루션
***이건호 : 한국건설기술연구원
****송두삼 : 성균관대학교 건축공학과

*† Won-Tug Son(corresponding author) : SEN Solution Co., Ltd., Sungkyunkwan University
E-mail : sonwt@sensolution.kr, Tel : 070-4651-5565
**Jong-il Lee, Dae-won Yoon : SEN Solution Co., Ltd.
***Keon-Ho Lee : Korea Institute of Construction Technology
****Doosam Song : Department of Architectural Eng., Sungkyunkwan University

에서도 건설되고 있다. 그러나 시장에서의 공급 또는 확장에는 여전히 한계를 가지고 있는데, 가장 큰 장애는 초기투자 비용 상승이다. 현재 제시되고 있는 저에너지 주택 또는 제로에너지 주택의 에너지 절감효과는 매우 현저하다고 할 수 있으나 시장에 대량 공급하기에는 비용 측면에서 거의 불가능한 상황이다.

기존의 저에너지 공동주택에 관한 연구는 주로 건축물에너지효율등급 취득을 위한 설계 기법 및 효과 검증 등 인증제도에 관한 내용과 특정 건축물의 저에너지 적용 기술 등에 관한 내용이 대부분이며, 이를 디자인으로 구현하기 위한 에너지절약 요소 기술별 선정 기법에 관한 연구는 구체적으로 진행되지 않았다.

본 연구에서는 저에너지 공동주택 구현을 위한 요소기술 적용 시 고려해야할 두 가지 필수적인 항목으로서 ‘에너지절감효과’ 및 ‘비용’을 선정하고, 이를 통합할 수 있는 의사결정 지표인 ‘경제성지수’를 제안하였다. 또한 경제성지수의 개념에 의거하여 저에너지 공동주택 구현을 위한 최적의 기술 조합을 탐색하는 방법을 제안하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 내용

본 연구는 일반적으로 많이 건설되고 있는 공동주택의 전용면적 84m²-type 단위세대를 분석대상으로 하여 단위세대에 적용 가능한 에너지절약 요소기술의 종류와 성능 범위를 도출하고, 각 에너지절약 요소 기술별 에너지절감 효과 및 투입 비용을 ‘경제성지수’로 일반화하였다. 그리고 ‘경제성지수’에 의해 각 에너지절약 요소 기술의 우위를 선정하고, 이들 요소기술의 최적 조합 기법을 도출하였다.

2. 공동주택의 에너지절약 요소 기술

2.1 기준주택 성능 설정 및 에너지절약 요소 기술 도출

요소 기술별 에너지절감효과 및 투입 비용 비교를 위한 대상으로서 ‘기준주택’을 설정할 필요가 있다.

‘기준주택’과의 비교를 통한 에너지절감을 평가 방법은 ‘친환경주택의 건설기준 및 성능’⁽¹⁾ 고시 및 ‘건축물에너지효율등급’⁽²⁾ 인증제도에서 활용되고 있는 방법이며, 이 중 ‘친환경주택의 건설기준 및 성능’ 고시는 공동주택의 사업승인 시 의무사항으로서 이미 보편화되어 있다.

Table. 1 Energy-saving elements and performance of baseline model

에너지절약 요소	성능
외벽 단열 (측벽/외기직면벽/외기간면벽)	0.35 W/m ² k
	0.47 W/m ² k
	0.64 W/m ² k
창호 단열(발코니에 면한 부위)	3.00 W/m ² k
창호 단열(외기 직면 부위)	3.00 W/m ² k
블라인드(창 내 삽입형)	미적용
현관문 단열	미적용
세대 내 방풍실	미적용
난방시스템	개별보일러(효율 84%)

‘친환경주택의 건설기준 및 성능’ 고시에서 설정하고 있는 ‘평가기준주택’의 성능은 ‘2009년 법규 수준의 단열성능’과 ‘개별난방보일러 효율 84%’의 두 가지로 요약되며, 이는 현재 법규상의 단열성능 및 일반적으로 시판 중인 보일러 성능과는 상당한 차이가 있다. 즉, 해당 고시의 평가방법에 의하면, 2014년 현재, 법규 수준의 단열성능과 일반적인 성능의 개

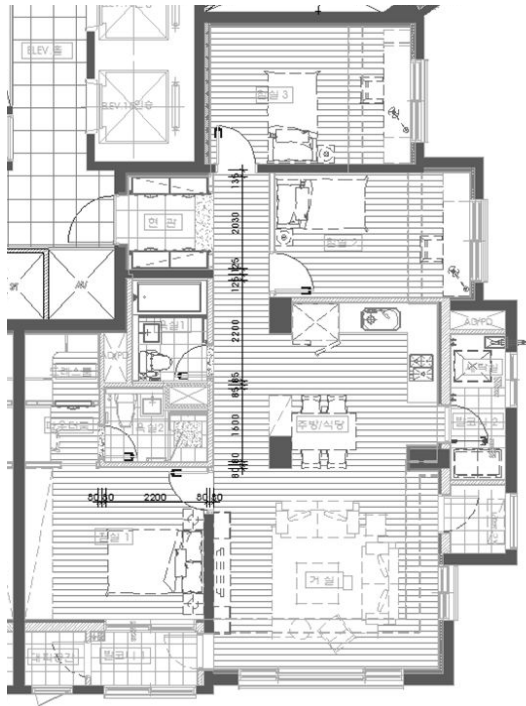


Fig. 1 Plan of the baseline model

별난방보일러 적용만으로도 일정 수준 이상의 에너지절감율이 확보된다. 해당 고시에서는 이를 보완하기 위해 사업승인 조건, 즉 에너지절감율 최소 요구값을 거의 매년 상향하여 고시하고 있다.

‘에너지절감율’ 개념은 상대적 평가지표로서 비교 기준이 되는 ‘기준주택’의 성능에 따라 달라질 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ‘에너지절감율’ 값의 변동에 따른 혼란을 최소화하기 위하여 ‘친환경주택의 건설기준 및 성능’ 고시의 ‘평가기준주택’을 참고하여 각 부위별 성능을 설정하고, 일부는 별도로 추가 설정함으로써 본 연구를 위한 ‘기준주택’을 마련하였다. 이를 표 1에 정리하였다.

‘기준주택’ 성능 항목 중 ‘외벽 및 창호 단열’은 형태에 관계없이 열관류율 성능을 기준으로 하였으며, ‘블라인드(창 내 삽입형)’는 직

사광선을 차단하기 위한 블라인드로서 창호의 유리 외 유리 사이에 삽입되는 형태로 적용되는 제품이다. ‘현관문 단열’은 현관문 내부에 20mm 이상의 단열재가 삽입된 단열현관문의 적용 여부, ‘세대 내 방풍실’은 현관문과 별도로 설치된 전실문의 설치여부를 의미한다.

또한, ‘기준주택’의 평면 형태는 대표성을 위하여 일반적으로 많이 분양되고 있는 전용면적 84m²-type을 선정하였으며 평면도는 그림 1과 같다.

2.2 에너지절약 요소별 적용 범위 설정

표 1에서 도출된 각 에너지절약 요소별로 시공성 및 상품성 등을 고려하여 성능 범위를 설정하고, 이를 성능 수준별로 LEVEL1, LEVEL2로 분류하여 표 2와 같이 정리하였다. 기준주택의 단열성능은 2009년 기준의 ‘에너지절약 설계기준’⁽³⁾의 법규 수준과 유사하며, LEVEL1, LEVEL2의 적용 범위는 현재 시장에 거래되고 있는 주택 상품에 대해 적용 가능한 범위로 설정하였다.

Table. 2 Range of application by Energy-saving elements

에너지절약 요소	기준주택	성능 수준	
		LEVEL1	LEVEL2
외벽 단열 (측벽/외기직면벽/ 외기간면벽)	0.35 W/m ² K	0.17 W/m ² K	0.15 W/m ² K
	0.47 W/m ² K	0.23 W/m ² K	0.20 W/m ² K
	0.64 W/m ² K	0.31 W/m ² K	0.27 W/m ² K
창호 단열 (발코니에 면한 부위)	3.00 W/m ² K	1.40 W/m ² K	
창호 단열 (외기 직면 부위)	3.00 W/m ² K	1.00 W/m ² K	0.90 W/m ² K
블라인드 (창 내 삽입형)	미적용	적용	
현관문 단열	미적용	적용	
세대 내 방풍실	미적용	적용	
난방시스템	개별보일러(효율 84%)		

공동주택에 적용 가능한 액티브 시스템으로는 고효율기기(변압기, 전동기, 펌프, 송풍기 등), 대기전력 차단장치, 일괄소등 스위치 등이 있으나, 대부분이 ‘친환경주택의 건설기준 및 성능’ 고시에 의해 의무 적용하도록 되어 있다. 따라서 이들 의무 적용 요소 기술에 대한 분석은 본 연구에서 제외하였다. 또한, 패시브 요소 기술의 선정 기법에 중점을 두기 위하여, 액티브 요소인 난방시스템 역시 별도의 변수로 고려하지는 않았으며, 기준주택의 설정을 동일하게 적용하였다.

3. 에너지 절약 설계를 위한 요소 기술 선정 기법

3.1 경제성 지수(E/C Index)

본 연구에서는 공동주택의 적용 요소기술의 우위성을 평가하는 항목으로 ‘에너지 절감 효과’와 ‘비용’을 선정하고, 이를 통합하여 각 대안간의 기술 우위를 평가하기 위한 개념으로 ‘경제성지수(Energy saving to Cost(E/C) Index)’를 개발하였다. ‘경제성지수’는 아래의 식(1)과 같이 정의한다.

$$\text{경제성 지수} = \frac{\text{에너지 절감 효과}(\%)}{\text{투입 비용(천원)}} \times 100 \quad (1)$$

즉, 경제성지수가 높은 요소기술은 비용대비 에너지 절감효과가 높다는 것을 의미하므로, 경제성지수가 높은 요소기술을 순차적으로 적용하는 것이 최적의 에너지 절약 설계안을 도출하는 결과가 된다. 물론 이러한 경제성지수 개념에 의한 최적설계안 도출이 가능하기 위해서는 제시된 요소기술의 시공성이나 내구성 또는 공급 가능성이 유사하게 확보된다는 전제에서이다.

또한, 본 연구에서는 분석 사례의 특성상 경제성지수 산출을 위한 ‘에너지절감효과’ 부분을 ‘에너지절감율(%)’로 설정하였으나, 적용 대상에 따라 ‘연간 에너지 절감 비용’ 등으로 변경하여 이용하는 것도 가능하다.

3.2 요소 기술별 경제성지수 분석

표 2의 요소 기술들에 대한 각각의 경제성지수를 다음 과정을 통해 산출하였다.

- (1) 기준주택을 대상으로 하여, 표 2에서 도출된 에너지절약 요소별 적용 범위 LEVEL1 및 LEVEL2에 대한 단일 적용시의 에너지절감 효과를 분석하였다. 분석 프로그램은 DOE⁽⁴⁾⁽⁵⁾를 이용하였으며, 본 연구에서는 급탕, 환기, 조명, 콘센트 기기 등의 에너지사용량은 제외하고 냉난방에너지 사용량만을 대상으로 하였다.
- (2) (1)에서 검토한 모든 요소기술에 대하여 각각 개별 적용 시 발생하는 세대 당 투입 비용을 산출하였다. 투입 비용은 2.1에서 선정된 기준주택의 실제 시공을 담당할 건설사의 협조를 받아 자재 납품가를 적용하였으며, 납품가가 일정치 않은 부분은 물가정보지를 참고하였다. 인건비는 현장별로 변수가 많아 별도로 고려하지 않았다.
- (3) (1)과 (2)의 결과를 이용하여 식(1)에 따라 각 요소기술의 LEVEL1 및 LEVEL2의 ‘경제성지수’를 산출하였다.
- (4) 분석 결과를 ‘경제성지수’가 높은 순서대로 표 3에 나타내었다.

분석 결과, ‘외벽 단열 LEVEL1’을 적용하는 경우, ‘경제성지수’가 7.83으로 가장 높게 나타나 투입 비용 대비 에너지절약 효과가 가장 우수한 것으로 분석되었다. 단열 성능이 강화된 최근 법규 기준으로 인하여 Case1의

요소기술 적용에 따른 투입 비용 증가분이 작아진 것이 주요 원인이다.

Table. 3 Results of Energy saving to Cost(E/C) Index

Case	에너지절약 요소	Analysis		
		에너지 절감율	비용 (원/세대)	경제성 지수
Case1	기준주택 + 외벽 단열 LV1	12.65%	162,000	7.83
Case2	기준주택 + 외벽 단열 LV2	14.66%	412,000	3.56
Case3	기준주택 + 현관문 단열 LV1	1.54%	150,000	1.03
Case4	기준주택 + 세대 내 방풍실 LV1	1.48%	220,000	0.67
Case5	기준주택 + 창호 단열 (발코니와 면한 부위) LV1	5.76%	1,200,000	0.48
Case6	기준주택 + 창호 단열 (외기 직면 부위) LV1	10.92%	3,022,000	0.36
Case7	기준 주택 + 창호 단열 (외기 직면 부위) LV2	13.78%	5,009,000	0.27
Case8	기준 주택 + 블라인드(창 내 삽입형) LV1	2.40%	1,614,000	0.15

한편, 외벽의 단열 성능을 LEVEL2까지 향상시킨 Case2의 경우, 에너지절감율은 14.66%로서 가장 크게 나타났지만, 투입 비용이 급격히 증가하여 '경제성지수'는 3.56으로 Case1보다 작게 나타났다. 이는 동일한 에너지절약 요소일지라도 적용 범위를 일정 수준 이상 향상시킬 경우 투입 비용 대비 효과가 점차적으로 감소하는 것으로 이해할 수 있다.

'경제성지수'가 가장 낮은 것은 창 내 삽입형 블라인드를 적용한 Case8이며, 향후 기술 개발을 통해 단가가 낮아지지 않는 한, 현재로서는 실질적 적용효과가 매우 낮은 요소기술이라고 사료된다.

한편, Case4의 에너지절감율은 1.48%로 가

장 낮게 나타났으나, 투입비용이 고려된 '경제성지수'에 의한 우선적용 순위는 4번째로서 비교적 높게 나타났다.

이와 같이, '경제성지수'에 의한 요소 기술 적용 우선순위는 에너지절감율 순서와는 다르게 재설정된다는 것을 확인할 수 있다.

3.3 최적 설계안 도출

표 3의 분석결과를 '경제성지수'가 높은 순서대로 나열하고, 이를 차례대로 누적 적용하면 목표로 하는 에너지절감율에 도달하기 위해서 몇 가지의 요소기술을 어떤 순서에 따라 적용해야 하는지 쉽게 찾을 수가 있다. 이 때, '경제성지수' 순서에 의하여 우선순위가 높은 요소기술부터 순차적으로 적용한 것이므로 투입 비용 대비 에너지절감효과는 최적이라고 볼 수 있다.

한편, 표 3의 에너지절감율은 각 에너지절감 요소를 단일 적용하는 경우에 대한 분석결과이며, 2가지 이상을 누적하여 복합 적용하는 경우에는, 각 에너지절감율의 단순 합산과는 차이가 있다. 따라서 '경제성지수'가 높은 순서대로 누적 적용한 에너지절감효과를 각 단계별로 재분석할 필요가 있다. 표 4에는 이렇게 해서 재분석된 에너지절감율을 나타내었으며, 투입비용 역시 각 적용 요소별 누적 비용을 산출하여 나타내었다.

분석결과, 각 Case 조합별 에너지절감율은 12.65%~21.37%로 나타났으며, 세대당 투입 비용은 162,000원~8,606,000원으로 나타났다.

예를 들어, 에너지절감율 목표가 15%일 경우, 최적 설계안은 에너지 절감율이 15.27%가 되는 지점으로서 Case1부터 Case3까지를 누적 적용한 설계안이며, 이 때 투입 비용은 세대당 562,000원이다. 마찬가지로, 에너지 절감율 목표가 20%일 경우의 최적 설계안은 에너지

Table. 4 Design alternatives

경제성지수 우선순위			최적조합 적용안		
경제성지수	적용 요소	Case	적용 요소 조합	에너지 절감율	투입 비용 (원/세대)
7.83	외벽 단열 LV1	Case1	Case1	12.65%	162,000
3.56	외벽 단열 LV2	Case2	Case2	14.66%	412,000
1.03	현관문 단열 LV1	Case3	Case2 + Case3	15.27%	562,000
0.67	세대 내 방풍실 LV1	Case4	Case2 + Case3 + Case4	16.24%	782,000
0.48	창호 단열(발코니와 면한 부위) LV1	Case5	Case2 + Case3 + Case4 + Case5	17.58%	1,982,000
0.36	창호 단열(외기 직면 부위) LV1	Case6	Case2 + Case3 + Case4 + Case5 + Case6	18.46%	5,004,000
0.27	창호 단열(외기 직면 부위) LV2	Case7	Case2 + Case3 + Case4 + Case5 + Case7	20.75%	6,991,000
0.15	블라인드(창 내 삽입형) LV1	Case8	Case2 + Case3 + Case4 + Case5 + Case6 + Case8	21.37%	8,606,000

절감율이 20.75%가 되는 지점으로서 Case1부터 Case7까지를 누적 적용한 경우가 최적 설계안이며, 투입 비용은 세대 당 6,991,000원이라는 것을 쉽게 찾을 수 있다.

이처럼, 표 4의 분석 결과를 활용하면, 목표 성능(에너지 절감율)을 구현하기 위한 최소 비용의 요소 기술 적용 조합, 즉 최적 설계안 도출을 위하여 쉽게 활용이 가능하다. 이해를 돕기 위하여 표 5에 목표 성능별 최적 설계안을 재정리하여, 목표 성능에 따른 최적 설계안의 구체적인 내용까지 확인이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 최적화 설계를 위한 ‘요소 기술의 선정 기법’에 대한 소개 및 이해를 돕기 위하여 에너지 절약 요소의 종류와 성능 범위(LEVEL)을 간략화하였으나, 필요에 따라 에너지 절약 요소와 성능 범위(LEVEL)를 추가하고, 표 5의 목표 성능을 더욱 세분화하

여 활용하는 것도 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는, 최근 국내에 개발되고 있는 저에너지 또는 제로에너지 주택들이 대부분 고비용으로 인하여 시장성에 한계가 있음을 인지하고, 이를 보완하기 위하여, 저에너지 공동주택 설계를 위한 의사결정 기법을 개발하고자 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공동주택에 적용 가능한 에너지절약 요소들을 도출하고, 시공성, 내구성 등을 고려하여 각 요소별 적용 범위를 설정하였다. (표 1, 표 2)
- (2) 각 에너지절약 요소별 적용 우선순위를 결정하기 위하여 ‘경제성지수’ 개념을 개발하였다.

Table. 5 Optimal Design

목표 성능	적용 요소	최적 설계안	에너지 절감율	투입 비용 (원/세대)
에너지절감을 10% 이상 목표 시	Case1	측벽 단열 : 0.17 W/m ² k 외기 직면벽 단열 : 0.23 W/m ² k 외기 간면벽 단열 : 0.31 W/m ² k 창호 단열(발코니와 면한 부위) : 3.00 W/m ² k 창호 단열(외기 직면 부위) : 3.00 W/m ² k	12.65%	162,000
에너지절감을 15% 이상 목표 시	Case2 + Case3	측벽 단열 : 0.15 W/m ² k 외기 직면벽 단열 : 0.20 W/m ² k 외기 간면벽 단열 : 0.27 W/m ² k 창호 단열(발코니와 면한 부위) : 3.00 W/m ² k 창호 단열(외기 직면 부위) : 3.00 W/m ² k 단열 현관문 적용	15.27%	562,000
에너지절감을 20% 이상 목표 시	Case2 + Case3 + Case4 + Case5 + Case7	측벽 단열 : 0.15 W/m ² k 외기 직면벽 단열 : 0.20 W/m ² k 외기 간면벽 단열 : 0.27 W/m ² k 창호 단열(발코니와 면한 부위) : 1.40 W/m ² k 창호 단열(외기 직면 부위) : 0.90 W/m ² k 단열 현관문 적용 세대 내 방풍실 설치	20.75%	6,991,000

- (3) 도출된 에너지절약 설계 요소별 단일 적용에 대한 에너지절감 효과 및 투입 비용을 분석하고, 이를 통해 각 에너지절약 요소별 '경제성지수'를 산출하였다.(표 3)
- (4) 에너지절약 설계 요소들을 '경제성지수'가 높은 순서대로 나열한 후, 이를 순차적으로 누적 적용하여 각 단계별 에너지절감 효과 및 추가비용 분석을 통해 요소기술의 최적 조합을 도출하였다.(표 4)(표 5)

응을 용이하게 하여 관련 법규 및 인증제도의 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

또한, 본 연구에서는 그 대상을 공동주택으로 하였기 때문에, 에너지관련 요소 기술 중 패시브적인 기술 위주로 범위를 한정하였다. 향후 업무시설 등 타 용도 건축물에 대하여 설비적인 요소 기술까지 함께 고려한 에너지 성능 최적 설계안 도출 기법에 관한 연구를 진행할 계획이다.

후 기

1. 본 연구는 국토해양부 도시건축사업의 연구비지원(11 도시건축 G02)에 의해 수행되었습니다.
2. 본 연구는 국토해양부가 주관하고 국토교통과학기술진흥원이 시행하는 2013년도 도시건축사업의 지원사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

향후, 법규 및 인증제도의 목표성능 구현을 위한 최적 설계안 도출 시 참고가 될 수 있도록, 본 연구에서 제시한 기법을 현재 시행 중인 건축물에너지효율등급인증제도, 친환경주택의 건설기준 및 성능, 에너지소비총량제 등으로 확대하여 후속 연구를 진행할 예정이다. 이는 법규 및 인증제도에 대한 실무자들의 대

Reference

1. Green Home Standard and Performance Evaluation System, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013
2. Building Energy Rating System, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013
3. Energy Saving Building Design Standards, Korea Energy Management corporation, 2009,
4. Visual DOE 4.0 User Manual, University of California, Lawrence Berkeley Laboratory, 1993
5. DOE-2 SUPPLEMENT Version 2.1E, University of California, Lawrence Berkeley Laboratory, 1993