

에너지효율주택의 최대투자규모 추정*

- 제로에너지주택을 중심으로

Estimating the Maximum Feasible Investment for the Energy Efficient Housing

- Focusing on the Zero-Energy Housing

김준형** · 최명섭*** · 이상영****

Kim, Jun-Hyung · Choi, Myoungsub · Lee, Sang-Young

Abstract

The government has recently introduced and enforced the energy efficient housing scheme including the zero-energy housing which has a net-zero energy consumption system based on the passive and active technologies. These technologies should result in the additional investment; however the economic feasibility of the investment has not been fully examined. This research aims to estimate the maximum investment for the energy efficient housing by analyzing the core benefit of the project – energy cost savings.

The analysis of the micro-data of Statistics Korea's Household Income and Expenditure Survey shows that the maximum feasible investment increases as the energy efficiency develops, the discount rate drops and the operation period of housing extends. Considering the 'business as usual' costs, the maximum rates of increase in construction costs is about 18.2~23.1%. The rise of energy price in the future would increase this rate to 25.7~33.9%. Our current estimates of additional investments for the zero-energy housing development are more than 30 percent, which implies that the development would not meet the economic feasibility unless the discount rate is low and the energy prices keep increasing.

키 워 드 · 에너지효율주택, 제로에너지주택, 에너지절감액, 경제성분석, 최대투자규모

Keywords · Energy Efficient Housing, Zero-Energy Housing, Energy Saving cost, Feasible Maximum Investment, Economic Analysis

I 서론

최근 기후변화에 대한 위기감, 온실가스배출 저감 필요성에 대한 공감대를 바탕으로 일부 국가에서는 친환경건축물, 그린빌딩 등 에너지효율주택(Energy Efficient Housing)을 본격적으로 도입하고 있다. 우리 정부 역시 친환경건축물인증, 그린홈

에 이어 최근에는 제로에너지주택(Zero Energy Housing, ZEH) 구현에 대한 로드맵까지 제시한 바 있다. 여기서 제로에너지주택이란 '단열성능을 극대화하여 에너지 요구량을 최소화하고, 신재생에너지를 활용하여 냉난방 등 에너지를 자급자족'하는 주택을 뜻한다(국토교통부, 2014b). 다시 말해 단열성능을 강화시켜 건물의 에너지소비를 최소화하는 패

* 본 연구는 국토교통부 도시건축 연구개발사업의 연구비지원(13AUDP-B067603-01)에 의해 수행되었습니다.

** Dept. of Real Estate, Myongji University (First author: junhgkim@gmail.com)

*** Dept. of Agriculture Economics and Rural Development, Seoul National University (mschoi@snu.ac.kr)

**** Dept. of Real Estate, Myongji University (Corresponding author: syleere@naver.com)

시브(passive) 기술, 그리고 태양광, 지열 등 신재생 에너지를 활용하여 건물에 필요한 에너지를 자체로 공급하는 액티브(active) 기술을 결합하여 건물의 에너지요구량이 0이 되도록 설계·시공한 주택을 일컫는다. 이를 위해 정부는 2016년부터 일정 규모 이상 건축물은 에너지효율등급을 평가하고, 2017년부터 냉·난방에너지를 2009년 대비 90% 절감하는 주택설계를 유도, 이를 토대로 2025년부터 모든 신축 주택에 대해 제로에너지빌딩을 의무화할 계획이다(국토교통부, 2014a).

이와 같은 건축물의 에너지효율 개선은 필연적으로 추가비용을 발생시킨다. 패시브기술일 경우에는 단열성능이 강화된 창호나 벽체가, 액티브기술일 경우에는 에너지를 생산하기 위한 태양광이나 지열발전 설비가 추가비용 발생의 원인이 된다. 에너지효율성능의 목표가 높아질수록 이 추가비용의 규모는 늘어나게 되는데, 건물에너지의 자립을 의미하는 제로에너지주택의 경우 추가공사비의 규모가 기존 주택에 비해 최소 30%를 초과할 것으로 전망된다(국토교통부, 2014b). 주택의 에너지효율을 개선하기 위한 정부의 이러한 대대적이며 선제적인 투자가 정당화되기 위해서는 재무적 혹은 경제적 관점의 편익이 에너지효율을 개선하기 위해 필요한 비용을 초과하여야 할 것이다. 그러나 안타깝게도 현재 제로에너지주택에 대한 정부의 논의에는 주택의 제로에너지실현에 따른 편익의 추정, 그리고 이 편익과 비용간 비교에 따른 타당성의 검토는 엄밀히 이루어지지 않고 있다. 예를 들어 최근 발표된 정부의 제로에너지빌딩 조기활성화 방안에서 제로에너지사업의 편익은 용적률 인센티브, 신재생에너지 보조금, 이차지원, 패시브건축에 대한 보조금 등 정부의 재정지원 및 세제혜택으로만 측정되고 있는 상황이다(국토교통부, 2014b).

이에 본 연구는 주택의 에너지효율 개선을 통해 발생할 수 있는 직접적인 편익을 추정함으로써, 제

로에너지주택 등의 에너지효율주택사업에 대한 적정 투자규모를 파악하는데 그 목적이 있다. 재무적 혹은 경제적 측면의 타당성을 확보하면서 투입할 수 있는 추가비용의 최대한도를 추정하는 것은 제로에너지주택을 구성하는 패시브 및 액티브 기술의 선정 및 결합과정에 기여할 수 있을 것이다. II장에서 자세히 언급되지만 에너지효율주택의 경제성을 분석한 국내외 문헌 대부분이 가구의 에너지지출 절감을 편익으로 산정하고 있으므로 본 연구에서도 이 접근방식을 그대로 활용하도록 한다. 가구의 에너지지출 절감액의 규모는 통계청의 가구동향조사 원시자료를 통해 추정한다.

II 이론연구

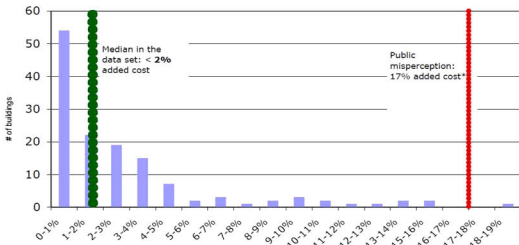
건물의 에너지효율을 개선하고 지속가능성을 제고하기 위한 시도들은 응당 비용증가요인을 포함한다. 전술한 고성능 단열자재나 발전설비를 구비해야 할뿐만 아니라 보다 빈번한 마감 작업이 필요할 수 있으며, 상대적으로 높은 관리비용이 필요할 수도 있다(Horne *et al.*, 2008). Kats *et al.*(2003)에 따르면 미국 캘리포니아의 디벨로퍼 중 약 절반은 에너지효율성을 강화한 녹색건축이 일반 건축에 비해 10~15% 비쌀 것으로 전망하고 있다. 실제 녹색인증 받은 33개의 비용자료를 분석한 결과에서도 녹색건축에 따른 비용증가(cost premium)가 확인되지만, 그 수준은 2%로 예상보다 낮은 수준으로 확인된다(Kats *et al.*, 2003). Kats(2009)에서도 유사한 내용이 언급되고 있는데, 146개의 녹색건물을 기초로 분석한 결과 녹색건물을 건설하는데 따르는 추가비용은 일반적 기대수준은 17%에 훨씬 못 미치는 2% 미만으로 나타나고 있다(그림 1). 그러나 여기에서 논의되는 녹색주택은 제로에너지주택이 아니라 에너지효율성을 개선하기 위한 설계나 설비

를 도입한 모든 주택을 의미한다. Davis Langdon(2007)이 제시한 것처럼 주택의 녹색성능을 강화하여 건물의 탄소배출량을 줄일수록, 즉 제로에너지주택으로 가까이 갈수록 건물의 공사비는 급격히 증가하는 경향이 있다(그림 2).

이와 같은 추가비용을 투입하여 건설된 에너지효율주택들은 다양한 편익을 제공할 것으로 예상된다. 실내 환경질이 개선되거나 극단적인 온도에 덜 노출되게 함으로써 거주자의 쾌적함, 안락함에 기여할 수 있으며, 나아가 건강에도 긍정적인 영향을 줄 수 있다(Kats *et al.*, 2003; ACF *et al.*, 2008). 미국내 그린홈 소유자 155명 대상의 설문조사에서도 그린홈을 구입하게 된 동기, 그린홈에 대한 높은 만족도의 원인으로 거주하기에 보다 건강한 공간이라는 점이 높은 비율로 지목되었다(Bernstein and Russo, 2008). 에너지효율건물은 인간의 생산성에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 환기나 온도에 대한 조절능력 증대, 조명능력의 개선, 주광조명의 활용 증가 등이 생산성 향상에 기여할 수 있다는 논리이다(Kats *et al.* 2003). Kats(2009)는 ‘녹색학교’의 학생들이 높은 성적을 거둘 것으로 기대하기도 한다. 건물의 ‘그린’화는 하나의 브랜드로 작용, 건물의 재산가치를 제고할 수도 있다. ACF *et al.*(2008)에 따르면 에너지효율주택의 보급은 에너

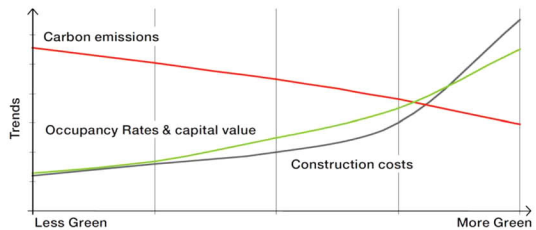
지에 대한 수요를 감소시킴으로써 에너지가격에 대한 하방압력을 가할 수 있다. 무엇보다 에너지효율주택은 높은 환경편익을 제공한다. 이산화탄소 등 온실가스 배출의 감소, 대기오염을 막을 수 있으며 이는 배출권거래제도 하에서 구체적인 편익으로 연결될 수 있다(Horne *et al.*, 2008). 그린홈 사업의 경제성을 분석한 김혜수 외(2011) 역시 그린홈 건축에 따른 편익 중 하나로 이산화탄소 발생량의 저감을 꼽고 있다.

그러나 전문한 문헌들을 포함, 에너지효율주택의 편익에 관한 대부분의 연구들은 가구의 에너지지출의 절감액을 주요 편익으로 삼고 있다. 다른 편익에 대한 가능성을 인지하더라도 경제성 분석 과정에서는 포함시키지 않거나, 부수적 요인으로 고려하는 경우가 대부분이다. 예를 들어 Kats *et al.*(2003)은 에너지비용의 절감이 에너지효율과 관련된 수단들을 통해 실현할 수 있는 가장 중요하고 또 널리 인지되고 있는 가치로 보고 있다. 생산성 향상이나 환경에 대한 위험과 관련된 편익은 불확실한 편익으로 보고 있는 반면, 에너지, 폐기물, 수도 등에 대한 지출의 감소는 분명히 예상할 수 있는 확실한 편익으로 간주하고 있는 것이다. 다양한 편익을 언급한 Kats(2009)나 Reardon(2013)의 연구 역시 경제성 분석을 위해 사용되는 편익은 에너지비용의



*Source: Kats(2009), p.3

그림 1. 기존 주택 대비 녹색주택의 추가비용
Fig 1. Additional cost of green housing



*Source: Davis Langdon(2009), p.3

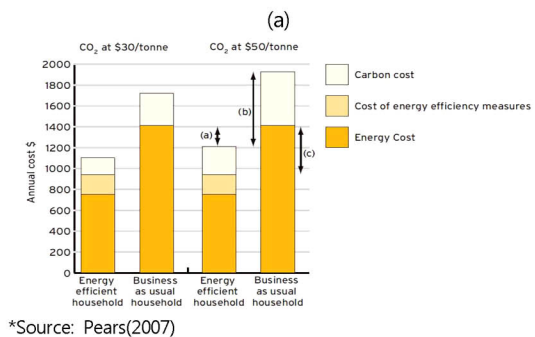
그림 2. 건물의 녹색성능을 강화할 경우
탄소배출량과 건물의 공사비
Fig 2. Carbon emissions and construction
costs by 'Green' level

절감분에 초점을 맞추고 있다. 김혜수 외(2011)도 이산화탄소 발생량 저감에 따른 편익은 2차편익으로 보고 그린홈의 최종 편익에 포함하지 않고 있으며, 에너지사용에 따른 지출비용의 감소를 1차편익으로 보고 비용편익분석에 활용하고 있다. Bernstein and Russo(2008)의 설문조사에서도 그린홈을 구입한 가장 주요한 이유로 거주기간 동안 발생하는 에너지비용 지출의 감소가 건강이나 환경에 대한 관심보다 높게 나타난다.

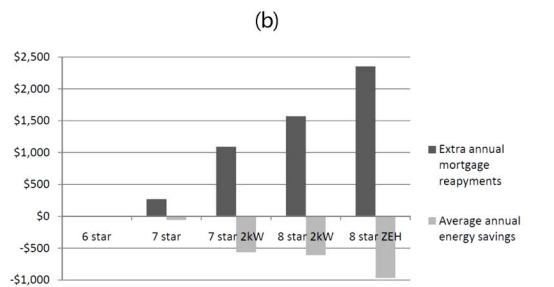
따라서 에너지효율주택의 경제성 분석은 대부분 에너지비용지출의 절감액을 편익으로 산정해 진행된다. Kats *et al.*(2003)은 캘리포니아주의 녹색건물에서 에너지비용 절감액의 가치는 제곱피트당 5.79불로 녹색건물 건축에 따른 추가비용인 제곱피트당 4불을 초과함을 보고하고 있다. Pears(2007)에 따르면 고효율의 에너지절감기술을 적용할 경우 가구의 에너지비용 지출은 절반 수준으로 감소, 연간 658불을 절감할 수 있다. 이는 탄소세(carbon cost)를 적용하지 않은 결과인데, 만약 탄소세를 고려할 경우 그 편익은 보다 증가할 것이다(그림 3-a) (ACF *et al.*, 2008, 재인용). ACF *et al.*(2008)은 에너지효율주택의 에너지절감액을 부문별로 산정, 각 부문별 투자비용과 비교함으로써 투자타당성을 평가하고 있다. 분석결과 연간순절감액은 300불을 초

과하며, 대부분 요소의 회수기간은 3~4년으로 나타난다. Kats(2009)는 녹색건물의 경제성을 분석하기 위해 녹색건물 건축에 따른 추가비용과 에너지비용에 대한 지출을 비교, 에너지비용 절감액이 추가비용을 초과함을 보인다. NERA(2010)는 호주 뉴사우스웨일즈 주의 건물지속가능성 평가도구인 BASIX를 적용할 경우 2050년까지 가구에 발생되는 혜택이 시드니 고층주택의 경우 호당 3,273불, 태양광을 구비한 대규모 주택은 14,661불일 것으로 전망하였다. Moore *et al.*(2010)은 멜버른에서 신축되는 에너지효율주택들에 대한 경제성 분석을 실시하였는데, 이 때 편익은 6 Star 주택과 비교한 에너지비용의 절감액으로 설정하였다. 분석결과 에너지효율 등급이 상승할수록 에너지절감에 따른 편익은 크게 증가하는 것으로 관측된다. 그러나 에너지효율 관련 시설의 투자에 따른 모기지상환액의 증가는 이를 훨씬 초과, 8 Star 제로에너지주택은 월 115불의 추가비용을 발생하는 것으로 확인되었다(그림 3-b). Reardon(2013)은 높은 수준의 온도조절성능, 효율적인 설비, 부지내 발전설비, 전기자동차, 에너지관리시스템 등을 결합할 경우 거주가구에 30만불 이상의 비용 절감과 8년 이상의 모기지상환기간 축소를 가져다줄 것으로 보았다.

국내 연구들 역시 에너지비용의 절감액을 주요



*Source: Pears(2007)



*Source: Moore *et al.*(2010)

그림 3. 에너지효율주택의 비용과 편익 분석

Fig 3. Cost and benefit analysis for the energy efficient housing

편익으로 삼고 있다. 김용인(2009)은 열병합발전설비의 경제성 분석을 위해 설비 적용 전과 적용 후의 전기요금, 가스요금, 유지관리비 등을 각각 추정하고 있다. 적용 전에 비해 적용 후 가스요금이나 유지관리비는 증가하지만, 전기요금은 크게 감소, 총운전비는 연간 146만원에서 115만원으로 감소한다. 송승영·이수진(2009)은 건물의 에너지효율을 향상시킬 수 있는 여러 설계안을 마련한 뒤 이들 중 최적대안을 찾기 위해 에너지비용절감을 편익으로 산정한다. 채동훈(2009) 역시 공동주택에 적용 가능한 25개의 친환경 및 에너지절약 요소기술의 적용 타당성을 분석함에 있어서 에너지비용절감을 편익으로 활용하고 있다. 요소기술별 에너지비용의 절감율은 0.1~27.8%로 분포하고 있으며, 연료전지를 비롯한 일부 요소기술들은 회수가 어려운 것으로 나타난다. 김혜수 외(2011)는 1차 편익으로 구분한 에너지비용절감액을 다시 패시브기술 적용, 태양광 적용, 그리고 태양열시스템 적용으로 구분, 각각의 시나리오에 대해 절감액과 회수기간을 파악하고 있다. 이현승(2013)은 대전 죽동에 위치한 그린홈 사례를 분석, 태양광 발전시스템 적용의 경제성을 평가하고 있는데 여기에서의 편익도 에너지절감에 따른 비용감소분이 활용된다. 분석결과 동별 회수기간은 5년에서 23년까지 분포하고 있다.

요약하자면 에너지효율주택은 기존 주택에 비해 추가비용이 발생하며, 이 비용투입의 적정성을 판단하기 위해 에너지효율주택이 제공하는 편익에 대한 분석이 수반되고 있다. 이 편익들은 쾌적함, 안락함, 건강, 생산성, 브랜드, 재산가치, 에너지가격 하락, 온실가스배출 감소 등으로 다양하게 존재하지만 실제 비용투입의 타당성에 대한 정량적 분석들은 대부분 향후 가구의 에너지비용 지출 감소에 따른 편익만을 고려하고 있다. 이는 다른 편익들이 부수적이거나 이 편익들을 추정하는 것이 쉽다는 점에 기인한다. 이에 본 연구에서도 가구의 에너지비용 절

감에 따른 편익을 중심으로 에너지효율주택의 투자규모를 추정하기로 한다.

에너지비용절감에서 편익을 찾을 수 있다는 점은 현재 에너지비용 지출액을 활용하여 경제적으로 타당한 에너지효율주택의 최대투자규모가 산정될 수 있음을 뜻한다. 이는 현재의 경제성 분석 방식, 즉 주택에 적용할 패시브 혹은 액티브 기술을 선정하고 이 기술을 적용할 때 발생하는 에너지비용 절감액을 토대로 경제성을 평가하는 방식을 역산하는 형태이다. 정부가 추진하고 있는 제로에너지주택의 요소기술이 아직 구체적으로 결정되지 않았으며, 제로에너지주택의 경제성을 확신할 수 없는 상황에서 (Moore *et al.*, 2010), 이와 같은 역산적 접근은 경제성을 확보할 수 있는 에너지효율주택의 투자규모와 에너지절감의 목표수준을 제시할 수 있다는 점에서 매우 유용할 것이다.

III 분석틀

에너지효율주택의 적정 투자규모를 추정하기 위해 본 연구는 경제성 분석의 틀을 적용한다. 경제성 분석은 비용편익비율(B/C), 순현재가치(NPV), 내부수익율(IRR)을 통해 경제적 타당성을 평가하는 것인데, 본 연구는 이 중 순현재가치(NPV)를 활용하여 에너지절감주택의 투자규모를 추정한다. 이는 다른 지표와 달리 실제 순편익액을 도출, 이를 활용하여 최대투자규모를 추정할 수 있기 때문이다.

NPV는 편익의 현재가치(B_0)와 비용의 현재가치(C_0)를 차감하여 산정한다. 우선 기존 주택과 비교한 에너지효율주택 편익의 현재가치(B_0)는 기존 주택에 비해 에너지효율주택에서 보다 크게 절감되는 에너지비용의 현재가치를 의미한다. 이는 에너지절감율을 θ , 연간 에너지비용을 \bar{E} , 연간 에너지가격 상승률을 δ , 할인율을 r , 운영기간을 T 라고 할 때

식 (1)과 같이 표현할 수 있다.¹⁾ 에너지절감율 θ 는 0~100%의 범위를 지니며 θ 가 높을수록 에너지효율의 목표성능이 높음을 뜻한다. 제로에너지주택은 θ 가 100%인 경우를 의미한다.

$$B_0 = \sum_{t=1}^T \frac{\theta \times \bar{E} \times (1+\delta)^t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

에너지효율주택을 건설하기 위한 비용은 가변적이며 불확실하다. 이는 전술한 대로 에너지효율주택의 목표성능이 다르기 때문에, 그리고 에너지효율주택을 구현하는 요소기술이 다양하고 또 그 비용이 불확실하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 C_0 를 특정 수준으로 가정하여 에너지효율주택의 NPV를 산정하는 방식이 아니라 $NPV=0$, 즉 에너지효율주택의 순편익이 0으로 수렴하기 위한 C_0 의 규모를 산정하는 역산적 방식을 취한다. 즉 순편익이 0에 도달하게 하는 비용의 현재가치를 에너지효율주택의 최대투자규모(C_{max})로 산정한다.

$$NPV = B_0 - C_0 > 0$$

$$C_{max} = \sum_{t=1}^T \frac{\theta \times \bar{E} \times (1+\delta)^t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

에너지비용(\bar{E}) 절감에 따른 편익을 산정하기 위해 본 연구는 2013년 기준 통계청 가구동향조사²⁾의 원시자료를 활용한다. 가구동향조사는 가구단위의 월소득 및 월지출에 대한 상세한 항목을 포함하고 있으며, 특히 본 연구에서 주안점을 두고 있는 에너지비용에 대한 세부 지출내용을 수록하고 있다. 구체적으로 가구동향조사에서 에너지비용은 주거 및 수도광열비 중 연료비에 포함되어 있으며, 이는 다시 전기, 도시가스, LPG, 등유, 경유연료, 연탄, 공동주택난방비, 기타연료비 등으로 구분된다. 도시지역과 비도시지역, 주택유형, 주거면적 등에 따라 에너지소비의 방식과 소비량, 그리고 에너지비용의 차이가 존재할 수 있으므로 본 연구는 우선 도시지역, 아파트, 그리고 2012년 국토교통부 주거실태조

사에서 평균 주택규모 구간에 해당하는 전용면적 60~85㎡ 주택 거주가구를 대상으로 에너지비용의 평균을 산정해 사용한다.

식 (2)에서 보는 것처럼 에너지효율주택의 최대투자규모는 에너지비용뿐만 아니라 에너지절감율, 운영기간, 그리고 할인율에 의해 결정된다. 에너지절감율은 에너지효율주택의 성능이나 적용기술의 결정과 연관된 것이기 때문에 20%, 40%, 60%, 80%, 그리고 100%에 이르는 다섯 구간으로 가정하기로 한다. 운영기간 역시 에너지효율주택에 적용되는 기술 및 설비의 사용연한에 따라 달라지므로 10년에서 50년까지 10년 단위의 다섯 구간으로 가정하여 접근한다. 할인율은 KDI의 예비타당성지침(한국개발연구원, 2008)에서 제시하고 있는 불변 사회적 할인율 5.5%를 기준으로 하되, 최근 저성장, 저금리 상황을 반영하여 3.5% 할인율도 적용한다. 각 시나리오의 에너지절감율, 운영기간, 할인율이 결정되면, 이를 기초로 에너지효율주택의 최대투자규모를 산정할 수 있다.

이렇게 산정된 에너지효율주택의 최대투자규모는 기존의 건축비용(C_h)과 비교, 건축비증가율(k)을 산정함으로써 보다 효과적으로 이해될 수 있다. 물론 에너지효율주택은 건축비의 증가와 함께 운영기간 동안 유지관리비를 추가로 발생시킬 수도 있다. 그러나 적용기술이 구체적으로 선정되지 않은 상태에서 유지관리비에 대한 가정이 어렵다는 점, 국내외 선행연구에서도 대부분 추가건축비용에 초점이 맞추어져 있다는 점을 감안, 본 연구에서는 기존의 건축비용과 비교를 하도록 한다.

$$k = \frac{C_{max}}{C_h} \times 100(\%) \quad (3)$$

식 (2)를 변형하면 식 (4)가 도출되는데, 이를 이용하여 할인율, 운영기간, 연간 에너지가격 상승률 등에 따른 에너지절감율(θ)을 산정할 수 있다. 다시

말하면 여기서 도출되는 에너지절감율은 수식에 포함된 변수들이 변화하였을 때 경제성 확보가 가능한 최소한의 에너지절감율이라 할 수 있다.

$$\theta = \frac{C_{max}}{\sum_{t=1}^T \frac{E \times (1+\delta)^t}{(1+r)^t}} \quad (4)$$

기존 건축비용은 에너지비용을 산정하는 과정에 서 적용된 가정과 일관되도록, 국토교통부 고시 (2014. 9. 1)를 기준으로 11~20층, 전용면적 60~85㎡의 주택에 적용되는 기본형 건축비 단가인 제곱미터당 140.7만원을 활용한다. 분석대상인 가계동향 조사 표본의 주택 전용면적 평균은 80.3㎡로 산정, 건축비 단가를 곱하면 기존 건축비용은 1억 1,298만원으로 산정된다. 또한 통계청의 소비자물가지수 평균증가율을 검토한 결과(표 1), 에너지비용과 관련된 전기, 가스 및 기타연료의 불가지수 증가율은 총지수나 주거비지수의 증가율보다 높게 나타나고 있다. 이는 향후 에너지비용이 가계에 미치는 부담이 보다 증가함을 뜻하며, 에너지비용에 대한 편익을 산정할 경우 이 가격상승의 가능성을 고려해야 함을 시사한다. 따라서 에너지비용 불가지수의 증가

율과 총불가지수의 차이인 3%를 연간 에너지가격 상승률로 고려한 에너지효율주택의 최대투자규모도 산정해보기로 한다.

IV. 결과 및 해석

1. 가구의 에너지비용 지출 현황

가계동향조사 분석결과(표 2)에 따르면, 월평균 가구소득은 362만원이며, 이 중 78.7%에 해당하는 285만원을 지출하고 있다. 주거 및 수도광열비는 25만원으로 소득의 7%를 차지하고 있으며, 연료비는 10만 8천원으로 산정, 가구는 전체 소득의 3%를 에너지비용으로 지불하고 있음이 확인된다. 에너지비용 중에서는 전기료와 도시가스가 각각 4만 6천원과 4만 5천원으로 이 두 항목의 합계가 약

표 2. 항목별 평균 및 비중

Table 2. Average income and expenditure

항목	평균 (원/월) Average (Mbn/Month)	소득대비 비중(%) Proportion to Income	연료대비 비중(%) Proportion to Fuel Expenses
소득 Income	3,618,086	100.0	-
지출 Expenditure	2,846,644	78.7	-
주거 및 수도광열비 Housing, water, electricity, gas and other fuels	251,634	7.0	-
연료비 Fuel expenses	108,381	3.0	-
전기료 Electricity	46,251	1.3	42.7
도시가스 Gas	45,331	1.3	41.8
LPG연료 LPG	3,206	0.1	3.0
등유 Lamp oil	4,985	0.1	4.6
경유연료 Diesel oil	55	0.0	0.1
연탄 Briquet	511	0.0	0.5
공동주택난방비 Heating	7,674	0.2	7.1
기타연료비 Other fuels	367	0.0	0.3

표 1. 소비자물가지수의 평균증가율 (2010-2013)
Table 1. CPI rate of increase (2010-2013)

구분	평균증가율 Rate of Increase
총지수 Total item	2.5%
주택·수도·전기연료(주거비) Housing, water, electricity and other fuels	4.2%
전세 Chonse	4.2%
월세 Monthly rent	2.4%
전기·가스 및 기타연료 Electricity, gas and other fuels	5.3%

*Source: Statistics Korea, Consumer Price Index

*Source: Statistics Korea, Household Income and Expenditure

85%를 차지한다. 나머지 항목 중에서는 아파트 거주가구를 중심으로 발생하는 공동주택난방비가 7.1%의 비중을 보인다.

에너지비용을 가구특성별로 분석한 결과는 표 3과 같다. 도시지역에 비해 비도시지역이, 단독이나 연립, 다세대주택에 비해 아파트와 비주거용건물의 연료비가 높게 나타난다. 또한 에너지비용은 주택면적과 비례하여 증가하는 것으로 나타난다. 에너지비용의 표준편차 역시 마찬가지이다. 비도시지역, 비주거용건물, 그리고 대형주택에서 에너지비용의 표준편차는 상대적으로 높게 나타난다. 따라서 에너지효율주택의 비용과 편익의 분석은 특정 지역이나 주택유형, 주택규모로 한정하여 진행하는 것이 바람직하다. 이에 본 연구도 전술한 대로 도시지역의

전용면적 60~85㎡ 아파트 거주가구를 대상집단으로 한정하여 분석을 진행한다. 이 집단의 기초통계는 표 4와 같다.

2. 에너지효율주택의 투자규모

대상집단에 포함된 가구의 에너지비용을 산정, 이를 통해 산출한 에너지비용 절감에 따른 가구당 편익은 표 5와 같다. 전반적으로 에너지절감율(θ)이 높을수록, 할인율(r)이 낮을수록, 그리고 운영기간(T)이 길수록 에너지효율주택의 최대투자규모는 증가하는 경향을 보인다. 구체적으로 할인율 5.5%, 운영기간 30년을 기준으로 할 때 에너지절감율이 20%인 주택은 에너지효율주택의 최대투자규모가 412만원이며, 에너지절감율이 100%인 제로에너지주택은 최대투자규모가 2,058만원에 이른다. 전체 시나리오에서 에너지비용 절감편익을 근거로 에너지효율주택에 투자할 수 있는 최대 규모는 최소 213만원에서 최대 3,321만원으로 산정된다.

이 수치들을 기존 건축비와 비교함으로써 경제성을 충족시키는 범위의 최대 공사비증가율을 산정할 수 있다. 기존 건축비는 동일하게 적용되기 때문에

표 3. 특성별 에너지 비용 평균 및 표준편차
Table 3. Statistics of energy cost by characteristics

구분		연료비(원/월) Fuel expenses	
		Average	SD
전체		108,381	57,445
지역 Region	도시 Urban	107,042	55,179
	비도시 Non-Urban	115,978	68,412
주택 유형 Housing Type	단독주택 Single family house	100,007	65,148
	연립 및 다세대 Multifamily house	107,772	55,840
	아파트 Apartment	112,477	52,423
	비주거용건물 Non-residential	136,075	86,665
주택 규모 Housing Size	60㎡ 이하 Below 60㎡	89,496	48,615
	60㎡ 초과 85㎡ 이하 From 60㎡ to 85㎡	116,798	53,910
	85㎡ 초과 105㎡ 이하 From 85㎡ to 105㎡	129,481	63,994
	105㎡ 초과 Over 105㎡	150,456	72,744

*Source: Statistics Korea, Household Income and Expenditure

표 4. 분석대상가구의 통계적 특성
Table 4. Descriptive statistics of the sample

도시 Urban	아파트 Apartment
	60㎡ 초과 85㎡ 이하 From 60㎡ to 85㎡
가구수 Household	3,587,771
에너지비용 평균(원/월) Average of Energy Cost(Won/Month)	117,982
에너지비용 표준편차 SD of Energy Cost	48,436

*Source: Statistics Korea, Household Income and Expenditure

에너지효율주택의 최대투자규모 추정

표 5. 에너지효율주택의 최대투자규모(에너지가격의 상승 가능성 미고려)

Table 5. Maximum feasible investment for the energy efficient housing (no increase of energy price)

할인율(r) Social discount rate		5.5%					3.5%				
절감율(θ) Energy reduction rate		20%	40%	60%	80%	100%	20%	40%	60%	80%	100%
편익 Benefit (천원) (Thousand Wbn)	10 year	2,134	4,269	6,403	8,537	10,672	2,355	4,710	7,065	9,420	11,775
	20 year	3,384	6,768	10,151	13,535	16,919	4,024	8,049	12,073	16,097	20,122
	30 year	4,115	8,231	12,346	16,461	20,577	5,208	10,416	15,623	20,831	26,039
	40 year	4,544	9,087	13,631	18,174	22,718	6,047	12,094	18,141	24,187	30,234
	50 year	4,794	9,589	14,383	19,177	23,971	6,642	13,283	19,925	26,566	33,208
공사비 증가율 Increasing rate of construction cost (%) Bar Chart	10 year	1.89	3.78	5.67	7.56	9.45	2.08	4.17	6.25	8.34	10.42
	20 year	3.00	5.99	8.99	11.98	14.98	3.56	7.12	10.69	14.25	17.81
	30 year	3.64	7.28	10.93	14.57	18.21	4.61	9.22	13.83	18.44	23.05
	40 year	4.02	8.04	12.06	16.09	20.11	5.35	10.70	16.06	21.41	26.76
	50 year	4.24	8.49	12.73	16.97	21.22	5.88	11.76	17.64	23.51	29.39

표 6. 에너지효율주택의 최대투자규모(에너지가격의 상승 가능성 3% 고려)

Table 6. Maximum feasible investment for the energy efficient housing (3% increase of energy price)

할인율(r) Social Discount Rate		5.5%					3.5%				
절감율(θ) Energy Reduction Rate		20%	40%	60%	80%	100%	20%	40%	60%	80%	100%
편익 Benefit (천원) (Thousand Wbn)	10 year	2,415	4,830	7,245	9,660	12,076	2,677	5,354	8,031	10,708	13,385
	20 year	4,315	8,630	12,946	17,261	21,576	5,228	10,455	15,683	20,911	26,138
	30 year	5,810	11,620	17,431	23,241	29,051	7,658	15,315	22,973	30,630	38,288
	40 year	6,986	13,973	20,959	27,946	34,932	9,973	19,945	29,918	39,891	49,864
	50 year	7,912	15,824	23,735	31,647	39,559	12,178	24,357	36,535	48,714	60,892
공사비 증가율 Increasing rate of construction cost (%) Bar chart	10 year	2.14	4.28	6.41	8.55	10.69	2.37	4.74	7.11	9.48	11.85
	20 year	3.82	7.64	11.46	15.28	19.10	4.63	9.25	13.88	18.51	23.13
	30 year	5.14	10.29	15.43	20.57	25.71	6.78	13.56	20.33	27.11	33.89
	40 year	6.18	12.37	18.55	24.73	30.92	8.83	17.65	26.48	35.31	44.13
	50 year	7.00	14.01	21.01	28.01	35.01	10.78	21.56	32.34	43.12	53.90

에너지절감율, 할인율, 운영기간에 따른 수치의 변화는 최대투자규모와 동일한 경향을 보인다. 운영기간 30년, 할인율 5.5%를 기준으로 할 때 에너지절감율이 20%인 주택은 공사비를 최대 3.6% 증가시킬 수 있으며, 에너지절감율이 100%인 제로에너지주택은 공사비를 최대 18.2%까지 늘릴 수 있다. 할인율을 3.5%로 낮출 경우 이 공사비증가율은 각각 4.6%와 23.1%로 높아진다. 전체 시나리오에서 경제성을 충족시킬 수 있는 공사비의 최대증가율은 최소 1.9%에서 최대 29.4%로 나타난다.

향후 에너지가격의 상승 가능성을 고려한 분석결과는 표 6과 같다. 할인율, 절감율, 운영기간의 증가에 따라 나타나는 경향은 앞서의 결과와 크게 다르지 않다. 그러나 에너지비용 절감에 따른 편익, 그리고 에너지효율주택을 건축하기 위해 투입가능한 공사비의 최대 규모는 앞의 결과보다 높아진다. 예를 들어 운영기간 30년, 할인율 5.5% 기준시 에너지절감율 20%인 주택의 공사비증가율은 기존 3.6%에서 5.1%로 증가하며, 에너지절감율 100%인 제로에너지주택의 공사비증가율은 기존 18.2%에서 25.7%로 크게 증가한다. 전체 시나리오에서 경제성을 충족한 에너지효율주택의 최대투자규모는 최소 242만원에서 최대 6,089만원, 최대 공사비증가율은 최소 2.1%에서 최대 53.9%로 나타난다.

정부는 향후 기술개발을 통해 추가공사비를 10%

표 7. 경제성 확보가 가능한 에너지절감율
Table 7. Energy reduction rate for economic feasibility

구분		연간 에너지가격 상승률 Increasing Rate of Energy Price	
		0%	3%
할인율 Social Discount Rate	5.5%	54.9%	38.9%
	3.5%	43.4%	29.5%

*Assumption of 10% additional construction cost and 30 years of housing durability

이내로 줄일 계획이며(국토교통부, 2014b), 에너지 절감의 효과를 분석하는 과정에서 주택의 수명을 30년으로 가정하고 있다(국토교통부, 2014c). 본 연구의 분석결과를 활용하면 10%의 추가공사비, 30년의 주택수명 하에서 경제성을 충족시킬 수 있는 에너지절감율의 목표를 산정할 수 있는데, 이는 표 7과 같다. 30년 주택수명 하에서 100%의 에너지절감율, 즉 제로에너지주택을 달성하기 위해서는 표 5에 따르면 18.2%의 추가공사비가 투입될 수 있다. 만약 추가공사비를 10%로 한정할 경우에는 에너지절감율이 54.9% 수준에서부터 경제성을 확보할 수 있다. 만약 에너지가격이 매년 3% 상승하는 것을 가정한다면 38.9%의 에너지절감율만으로도 경제성을 확보할 수 있다. 에너지가격 상승률이 높을 때 에너지절감율 목표가 낮아지는 까닭은 에너지비용 절감에 따른 편익이 증가하기 때문이다. 이러한 결과는 현재 제시된 '제로' 에너지주택의 목표가 에너지비용 절감에 의해 발생할 수 있는 편익에 기초할 때 경제적 측면에서 과도한 성능기준일 수 있음을 시사한다.

V. 결론

기후변화에 대응, 온실가스배출 저감을 위한 노력의 일환으로 제로에너지주택을 비롯한 에너지효율주택의 도입 및 보급이 적극 추진되고 있다. 에너지효율성능을 개선하기 위한 패시브 혹은 액티브 요소에 추가비용이 응당 소요되지만, 이러한 투자가 충분한 편익을 가져다주는지에 대한 검토는 엄밀히 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구는 선행연구에서 활용하고 있는 에너지효율주택의 주요 편익, 즉 가구의 에너지비용절감에 따른 편익을 산정, 경제성을 충족시키면서 에너지효율주택에 투자될 수 있는 최대비용을 산정해보았다.

분석결과, 경제성을 확보한 에너지효율주택의 투자규모는 에너지절감율이 높을수록, 할인율이 낮을수록, 그리고 운영기간이 길수록 증가한다. 운영기간 30년인 제로에너지주택을 기준으로 한다면 가구당 최대투자규모는 할인율이 5.5%일 때 2,058만원, 할인율이 3.5%일 때 2,604만원이며, 에너지가격 상승을 고려할 때 이 수치는 각각 2,905만원과 3,829만원으로 늘어난다. 이 결과를 기본형 건축비로 나누어 에너지효율주택 건설시 공사비증가율로 환산하면, 할인율이 5.5%일 때 18.2%, 할인율이 3.5%일 때 23.1%까지 공사비를 늘릴 수 있다. 매년 3%의 에너지가격 상승을 고려하면 이 수치는 각각 25.7%와 33.9%로 증가한다. 현재 정부는 제로에너지주택의 추가공사비를 30% '이상'으로 보고 있기 때문에, 낮은 할인율과 지속적인 에너지가격 상승이 함께 나타나지 않는 이상 제로에너지주택의 경제성은 확보되기 어렵다.

그러나 제로에너지주택은 에너지효율주택의 한 이상적 유형에 불과하다. 에너지효율의 성능, 즉 에너지절감율을 조절한다면 정부가 적합하다고 생각하는 10%의 공사비증가율 범위 내에서 경제성을 확보한 에너지효율주택을 얼마든지 건설할 수 있다. 다만 이 때의 에너지절감율은 표 7에서 보듯 100%가 아니라 30~55% 범위에 있더라도 경제성을 확보하게 된다.

즉 현재 정부가 예상하고 있는 30% 수준의 제로에너지주택 추가투자는 할인율이 매우 낮으면서 에너지가격이 지속적으로 상승하는 특별한 상황에서 에너지비용절감에 따른 편익으로 충당이 가능하다. 주택의 에너지효율성을 제고하기 위한 최대 추가투자규모를 10% 정도로 본다면 '제로에너지' 주택이 아니라 '기존 대비 30~55% 수준으로 에너지를 절감한' 주택이 경제적으로 타당한 정책목표가 될 것이다. 물론 II장에서 살펴본 것처럼 가구의 에너지비용 절감 이외에도 쾌적성, 안락함, 건강, 생

산성, 재산가치, 에너지가격 하락, 온실가스배출 절감 등 에너지효율주택의 편익은 매우 다양하게 존재한다. 그러나 아직 국내에서는 주택의 에너지효율 개선과 이 다양한 편익들간의 관계가 구체적·정량적으로 논의되지 않고 있다. 만약 경제적 타당성을 갖춘 30~55% 수준의 에너지절감주택에 머무르지 않고, 100%의 에너지절감율을 달성한 제로에너지주택을 보급하고자 한다면, 그 추가비용에 상응하는 편익은 과연 무엇이며 또 어느 정도인지에 대해 엄밀한 분석이 선행되어야 할 것이다.

주1. 에너지요금이 에너지사용량에 따라 누진적으로 책정되므로, 에너지절감율에 따른 연간 에너지비용의 절감 역시 이 누진체계를 고려할 필요가 있다. 그러나 분석의 명료성을 위해 본 연구에서는 에너지사용량과 에너지비용간의 선형적 관계를 가정한다.

주2. 통계청 가구동향조사는 2010년 인구주택총조사 결과에 신축아파트를 포함한 조사를 대상으로 약 8,700가구를 대상으로 하되, 가중치조정법(Weighting adjustment)을 통해 전체모집단을 추정할 수 있으며, 2013년 기준 총 가구수는 16,799,557 가구이다.

인용문헌

References

1. 국토교통부, 2014a. 「건축물 에너지 절감 생활 속에서 느끼게 된다 - 수요자 중심의 건축물 에너지 성능 향상 방안 마련」, 경기. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2014a. *We can feel the building energy savings in daily life - Demand-side strategies to enhance the energy performance of buildings*, Gyeonggi.
2. 국토교통부, 2014b. 「제로에너지빌딩! 미래건축에 대한 패러다임을 바꾸다 - 선도형 제로에너지빌딩 조기 활성화 방안 마련」, 경기. MOLIT, 2014b. *Zero-energy buildings shift the paradigm for the future construction - Measures to activate the leading zero-energy buildings*, Gyeonggi.

3. 국토교통부, 2014c, 「신축아파트, 에너지 덜 쓰고, 난방비 덜 낸다! - 친환경 주택의 건설기준 및 성능(고시) 행정예고」, 경기.
MOLIT, 2014c. *Use less energy, and pay less heating bills in the new apartment - Announcement of the building codes and performance of environment-friendly housing*, Gyeonggi.
4. 김용인, 2009. “열병합발전을 이용한 공동주택 중앙 급탕방식 적용의 타당성 검토”, 「건축환경설비」, 3(2): 41-49.
Kim, Y., 2009. “Feasibility on Central Hot Water Supply System using Steam Supply and Power Generation for Apartment”, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 3(2): 41-49.
5. 김혜수·노태욱·송영배, 2011. “그린홈 사업의 경제성 평가에 관한 연구 - DCF법을 중심으로”, 「집합건물법학」, 8: 165-186.
Kim, H., Song, Y. and Noh, T., 2011. “Assessment on the Economic Feasibility of Green Home Project,” *The Korean Aggregate Buildings Law*, 8: 165-186.
6. 송승영·이수진, 2009. “에너지절약형 공동주택의 경제성”, 「건축환경설비」, 3(2): 12-22.
Song, S. and Lee, S., 2009. “Economic feasibility for the energy efficient multi-family housing”, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 3(2): 12-22.
7. 이현승·박재완·윤종호·신우철, 2013. “그린홈 적용 PV시스템의 경제성 평가에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회, 대구: EXCO.
Lee, H., Park, J., Yoon, J. and Shin, U., 2013. “A study on the economic evaluation of photovoltaic system in the Green-home”, Paper presented at the 2013 Spring Annual Conference, Daegu: EXCO.
8. 채동훈, 2009. “공동주택에 적용 가능한 에너지절약 기술 및 적용 타당성 분석”, 「건축환경설비」, 3(2): 23-28.
Chae, D., 2009. “Energy reduction technology and feasibility analysis for apartment”, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 3(2): 23-28.
9. 통계청, 2014. 「2013년 가계동향조사 원시자료」, 서울.
Statistics Korea, 2014. *Household Income and Expenditure Survey 2013. Micro-data*, Seoul.
10. 한국개발연구원, 2008. 「예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)」, 서울.
Korea Development Institute, 2008. *General Guidelines for Preliminary Feasibility Studies, 5th ed*, Seoul.
11. Australian Conservation Foundation (ACF), Australian Council of Social Service (ACOSS) and Choice, 2008. *Energy and Equity - Preparing Households for Climate Change: Efficiency, Equity, Immediacy*. www.acoss.org.au.
12. Bernstein, H. and Russo, M., 2008. *The Green Home Consumer: Driving Demand for Green Homes*, SmartMarket Report, New York: McGraw-Hill Construction.
13. Davis Langdon, 2007. *The Cost and Benefit of Achieving Green Buildings*, www.davislangdon.com.
14. Horne, R., Morrissey, J., O’Leary, T., Berry, M., Hamnett, S., Kellett, J. and Irvine, S., 2008. “Lifetime affordable housing in Australia - assessing life cycle costs,” 3rd Paper presented at Australian Housing Researchers’ Conference, Melbourne, Australia.
15. Kats, G., 2009. *Green Buildings and Communities: Costs and Benefits*, www.goodenergies.com.
16. Kats, G., Alevantis, L., Berman, A., Mills, E. and Perlman, J., 2003. *The Cost and Financial Benefits of Green Buildings*, A report to California’s Sustainable Building Task Force, Capital E.
17. Moore, T., Morrissey, J. and Horne, R. 2010.

- “Cost benefit pathways to zero emission housing: Implications for household cash-flows in Melbourne,” paper presented for the 4th International Conference on Sustainability Engineering and Science, Auckland, New Zealand.
18. NERA, 2010. *BASIX Post-Implementation Cost Benefit Analysis: An Economic Evaluation of the State Environmental Planning Policy – Building Sustainability Index*, A report for the Department of Planning, www.basix.nsw.gov.au.
19. Pears, A., 2007. *Residential Sector Energy Efficiency Scenario – Background, Framework And Rationales*, Draft report for Business Council for Sustainable Energy, Carlton.
- | | |
|----------------|------------|
| Date Received | 2015-01-30 |
| Date Reviewed | 2015-03-03 |
| Date Accepted | 2015-03-03 |
| Date Revised | 2015-03-25 |
| Final Received | 2015-03-25 |