

기존 단독주택의 에너지성능개선을 위한 요소 및 효과에 관한 연구

김민경* · 김성은**

Technical Factors on Energy Performance Improvement and the Effects for the Existing Detached House

Min Kyeong Kim* · Seong Eun Kim**

요약 : 본 연구는 다양한 에너지성능개선 요소기술 중 우선적으로 적용할 기술을 선정하고, 그 성능을 평가하는 것을 목적으로 한다. 먼저 국내외 정책사례를 조사하여 다양한 요소기술을 추출하고, 2단계로 전문지식과 경험에 의한 델파이 설문조사를 이용하여 우선적으로 적용해야 할 요소를 유형별로 추출하였다. 3단계로 정량적인 분석이 가능한 추출된 요소기술은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 각 요소기술을 적용했을 경우의 타당성을 분석하였다. 요소기술에 대한 중요도는 에너지 절약, 비용 절감, 환경성의 3가지 관점에 따라 가중치를 설정한다. 정량적 분석이 어려운 요소기술에 관해서는 설문조사를 통한 효과별 평가결과를 이용하였다. 분석 결과, 기존 건물의 에너지성능 개선효과 우선순위는 벽체 단열강화 > 창문 효율개선 > 옥상녹화 > 창틀 단열강화 > 기밀성 개선 순으로 나타났다. 이러한 연구결과를 바탕으로 기존 단독주택의 성능개선에 관한 정책 및 가이드라인 작성이 가능할 것이다.

주제어 : 단독주택, 성능개선, 요소기술, 에너지 시뮬레이션

ABSTRACT : This study aims to select the technologies, preferentially applied among several technical factors of energy performance improvement, and evaluate the performances of the factors. First of all, we extracted technical factors based on the case studies of domestic and abroad policies, secondly, set the weights on the importance, energy saving, cost reduction, and environment of technical factors through expert surveys. Thirdly, we evaluated qualifiable factors using computer simulation. The order of priority of effects of energy performance improvement for existing detached house is as follows: intensifying wall insulation > improving window efficiency > rooftop gardening > intensifying window insulation > improving air-permeability. This study would be available to draw up policies and guidelines of energy performance improvement for existing detached houses.

Key Words : Detached House, Performance Improvement, Technical Factor, Energy Simulation

* 서울시정개발연구원 도시기반연구본부 부연구위원 (Associate Research Fellow, Metropolitan Planning Research Group, Seoul Development Institute), 교신저자(E-mail: min@sdi.re.kr, Tel: 02-2149-1046)

** 서울시정개발연구원 도시기반연구본부 연구원 (Researcher, Metropolitan Planning Research Group, Seoul Development Institute)

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

2009년 11월 ‘녹색도시·건축물 활성화 방안’이 발표됨에 따라 2025년까지 모든 건축물에 대해 외부로부터 공급되는 에너지가 전혀 없는 ‘제로에너지 건축물’이 의무화된다. 주거용 건물의 경우 연간 에너지 소비량을 2012년까지 현 수준 대비 30%, 2017년까지 60%를 줄여야 하며, 2025년까지는 제로에너지로 할 계획이다. 또한 신축 공동주택에 한하여 시행되던 ‘건물에너지효율등급제도’가 신축업무용 건물, 2012년에는 기존 건물을 포함하여 연차적으로 확대된다.

국내 건물의 단열기준이 20% 강화된 시점인 2001년 이전에 지어진 건물의 비율은 전체 건물의 약 70% 정도로 기존 건물의 성능개선은 건물에너지를 줄이는 데 매우 중요한 문제이다. 특히 ‘2005 인구주택총조사’에 따르면, 단독주택은 전체 주택수의 32.2%로 52.7%인 공동주택에 이어 2위로 나타났다. 단독주택은 공동주택에 비해 건축연수가 높으며, 단열규정이 적용되지 않은 경우가 많다. 또한 단열재가 계획되었다고 하더라도 노후화로 인하여 제 기능을 상실한 경우가 많다.

또한 2000년부터 2020년을 목표로 하는 제4차 국토종합개발계획의 부문별 계획 가운데 주택부문은 아파트의 공급비중을 줄이고 단독주택의 비중을 늘리는 데 역점을 두고 있다. 최근 서울시에서도 기존 재개발, 재건축 등 정비 사업이 빚어내는 난개발 등 부작용을 예방하기 위한 ‘정비에 정구역 지정제도 폐지’와 다세대 및 다가구, 단독주택이 많은 지역의 부가가치를 높이는 것을 골자로 한 ‘서울휴먼타운’ 조성을 포함한 ‘주거지중

합관리계획’을 발표했다. 서울휴먼타운은 단독주택, 연립주택 등의 저층주거지의 주거환경 개선 및 보존을 통해 기존의 획일적인 아파트 위주의 공급체계를 벗어나 주거다양화를 추구한다. 그러나 이 계획은 커뮤니티 및 주변 환경 개선을 우선적으로 다루며, 에너지 성능개선에 관한 내용을 추후 추가 반영할 예정이다. 이러한 사회적 분위기는 단독주택의 에너지 성능, 주거환경 등의 질적인 개선을 통해 거주자의 쾌적성 및 건물의 가치 향상의 중요성이 커지고 있다.

따라서 본 연구에서는 단독주택의 성능개선에 관한 정책과 가이드라인을 마련하는 데에 근거를 제공하기 위해 성능개선 시 우선적으로 적용되어야 할 요소기술을 선정하고, 각 요소기술의 효과를 평가하는 것을 목적으로 한다.

2. 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 건물의 에너지 성능개선 시 우선적으로 적용해야 할 요소기술을 선정하기 위해 우선 국내외 친환경 건축 가이드라인 사례 조사를 실시하였다. 사례 조사를 통해 건물성능 개선에 효과적인 요소기술을 추출하였으며, 추출된 항목의 개선 효과에 관한 설문조사를 실시하였다.

설문조사는 건물에너지 성능개선방안을 제안하기 위한 각 요소기술별 에너지절약 효과, 비용절감 효과, 환경 효과를 고려한다. 이는 에너지 성능개선에 효과적인 요소들을 추출하기 위해 전문지식과 경험에 의한 델파이조사를 실시함으로써 우선적으로 적용해야 할 요소를 유형별로 추출하였다. 또한 정량적인 분석이 가능한 추출된 요소기술은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 각 요소기술을 적용했을 경우의 타당성을 분석하였으며, 정량적 분석이 어려운 요소기술에 관

해서는 설문조사를 통한 효과별 평가결과를 이용하였다.

II. 단독주택의 성능개선 요소

건물에서 소비되는 에너지량을 줄이기 위해서는 건물 내부의 에너지가 외부로 유출되지 않도록 보존하고, 이를 통해서 건물 내부에서 소비되는 에너지를 줄이는 전략이 필요하다. 이를 위해 국내외 사례 검토를 통해서 건물에 적용 가능한 에너지 절약 요소들을 도출하였다. 건물성능개선을 위해 주로 적용된 공통 요소기술들을 <표 1>의 국내외 가이드라인 및 인증기준 검토를 통해 추출, 정리하였다. 각 가이드라인별로 적용된 요소 기술로 기존 건물을 개선할 경우 비교적 쉽게 변경 가능한 요소들을 추출하여 건축물의 계획 프로세스에 따라 크게 대지, 건축물, 건축 설비 요소로 구분하였다.

1. 건축물

1) 지붕 및 벽체 단열강화

열관류율이 낮은 단열재 사용을 통한 지붕 및 벽체 단열강화는 내부 발열부하가 적은 단독주택이나 공동주택 등의 외피부하 지배형 건물(Envelope Load Dominated Building)의 에너지 사용량 절감에 효과적이다. 뉴욕시 보고서에서는 건축물 외벽, 천장 및 바닥으로의 열손실을 방지하기 위하여 기준에서 정하는 단열두께보다 두껍게 설치하여 단열부위의 열저항을 높이도록 하며, 외벽 부위는 외단열로 시공하도록 권장하고 있다. 따라서 국내에서도 열손실을 방지하기 위하여 기준에서 정하는 단열두께 이상으로 설치하여 단열부위의 열저항을 높이도록 하며, 열교가

없는 단열재의 설치를 의무화할 필요가 있다.

2) 옥상 및 벽면 녹화

녹화는 건물의 냉난방부하를 절감하는 효과를 갖는 동시에 도시의 열섬현상을 줄이고 우천시 발생하는 비점원 오염 및 토양 유출을 줄이는 효과를 갖는다. 미국 일리노이주 에번스톤의 Climate Action Plan 2008에 따르면 요소기술을 이용하여 약 54~114tCO₂를 저감할 수 있다고 한다. 특히 단독주택의 경우 다른 건물에 비해 적용하기 용이하며, 지붕에 설치된 경우 최상층의 실내 온도 및 쾌적에 영향을 주므로 아파트나 사무소 등 다층형 건물보다 더 높은 에너지 절약 효과가 기대된다.

3) 반사율 조절

밝은 색의 지붕은 옥상녹화와 마찬가지로 빛과 열을 대기로 반사하여 여름철 냉방부하 절감, 열섬 방지 효과가 있다. 최근 지붕의 이러한 특성을 고려하여 일반적인 지붕에 비해 지붕 표면 온도를 10~15℃ 낮게 유지하며 냉방부하 절감효과를 갖는 쿨루프(cool roof) 시스템에 대한 관심이 높아지고 있다. 캘리포니아 주는 미국 최초로 쿨루프의 자격 요건을 제정, 이미 산업용 건물에 대하여 쿨루프 사용을 의무화하고 있는데 국내에서도 이와 관련된 규정 제정 및 보급을 위한 노력이 필요하다.

4) 창문 효율개선

창을 통한 에너지 손실을 절감하기 위해서는 삼중창, 로이코팅유리 등을 사용한 창문의 성능개선 또한 중요하다. 산타모니카의 가이드라인에서는 단창보다 에너지절감 효율이 더 높은 복층유리, 삼중유리의 사용을 권장하고 있다. 국내 에

너지 절약 설계를 위한 가이드라인에서도 열손실이 많거나 창면적이 큰 부위에는 단열성이 우수한 로이유리를 사용하거나 3중창(복층유리창+단층유리창) 계획이 권장되고 있다.

5) 창틀 단열강화 및 기밀성 개선
 창유리를 통한 열손실 외에 창틀의 열전도 손실이나 틈새를 통한 침기에 의한 손실 또한 실내 냉난방부하를 증가시키는 원인이 된다. 산타모니

<표 1> 국내외 가이드라인별 에너지성능개선요소

에너지성능개선요소	미국									영국	프랑스	독일	호주	한국	
	LEED	뉴욕	산타 모니카	미네 소타	베니 시아	오스 틴	에반 스텐	알라 메다	시카고	BRE	파리	정부	빅토 리아	친환경 인증	
건축 물	단열강화	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	옥상 및 벽면 녹화	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	
	반사율 조절	○	○	○	○		○	○	○	○			○		
	창문 효율개선	○		○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	
	창틀 단열 및 기밀성 개선	○	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○	
	외부차양 설치	○	○	○	○		○		○				○	○	
	방풍실 구축		○											○	○
	공간(실) 조닝		○										○	○	○
건축 설비	개별 온도제어				○				○					○	
	보일러 효율개선	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	
	공조시스템 용량 최적화	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	
	환풍기 설치	○	○	○	○		○		○	○			○		
	배기열 회수	○		○	○		○		○			○		○	
	환기	○	○	○	○		○		○	○	○	○	○	○	
	환기시스템 용량 최적화	○	○		○		○		○					○	
	방충망 확대		○												
	자연채광 활용(조광제어)	○	○	○	○		○		○	○	○	○	○	○	
	재실 감지센서	○	○		○				○	○	○		○		
	조명 효율개선	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	에너지관리시스템(BEMS) 구축	○	○										○	○	
대지	수목 식재	○		○	○	○	○		○	○		○		○	
	수변공간 조성			○	○		○		○			○	○		
	도로 포장색 조절	○			○				○						
	우수 활용	○		○	○	○	○			○		○	○	○	
	중수 이용	○			○	○	○			○		○	○	○	
	절수형 기구	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	

카의 가이드라인과 같이 유리의 성능뿐만 아니라 창틀의 성능 또한 중요시하며, 열관류율이 낮은 창틀의 사용 및 틈새 메움을 통한 열손실 차단을 권장할 필요가 있다.

6) 차양장치

뉴욕시 가이드라인에 따르면 차양장치를 적절히 설계할 경우 냉방부하의 30~60%를 줄일 수 있고, 실내 기온을 낮춰 여름철 낮의 에너지 수요 피크 시간대에 최대 효과를 볼 수 있다고 한다. 그러나 국내에서는 차양의 길이에 관한 기준은 정해져 있지 않으며, 차양효과에 따른 규정 마련도 필요할 것으로 판단된다.



〈그림 1〉 차양장치

2. 건축설비

1) 개별 온도제어

실별 온도 조절을 통해 냉난방이 필요한 실에만 공급하고, 불필요한 냉난방 에너지 공급을 제거함으로써 에너지 절약효과를 얻을 수 있다. 대부분의 주택은 단일난방시스템으로 겨울철 실별 난방 불균형이 발생하며, 불필요하게 높은 온도의 난방으로 에너지를 낭비하게 되는데, 뉴욕시에서는 이러한 문제점을 해결하고자 10년에 걸쳐 가정용 건물의 각 방 혹은 각 호의 개별온도 제어장치를 설치하도록 계획하고 있다. 따라서 국내에서도 점차적으로 주거용 건물 실별 혹은 세대별 개별온도제어장치를 설치하도록 하는 방

안이 마련되어야 한다.

2) 보일러 효율개선

건물에 적절한 고효율 보일러의 사용은 건물 운영비를 절감해 주고, 천연자원을 절약하며, 연소 가스로 인한 공해 저감 및 환경보호에 기여한다. 산타모니카에서는 90% AFUE(Annual Fuel Utilization Efficiency)나 그 이상의 고효율 보일러를 설치하도록 가이드라인을 통해 권장한다. 국내에서도 산타모니카와 같이 보일러 관련 규정의 현대화 및 최소 효율 기준(가정용 가스보일러의 최소 효율 기준은 80.0%) 향상에 관한 방안이 필요하다.

3) 환풍기 설치

공간별 다양한 환풍기 설치를 통해 냉방 에너지를 감축할 수 있다. 델라웨어의 Climate Change Action Plan에 따르면 환풍기를 통해 실내 공기의 순환을 향상시킬 경우 약 1.78%의 에너지 절약 효과가 있다고 한다. 이를 위해 천장에 팬을 설치하는 것을 장려하고 있는 산타모니카와 같이 차가운 공기와 더운 공기를 순환시켜 실내 쾌적성을 향상시키기 위해 천장에 팬을 설치하거나, 에어컨의 효율을 최대화할 수 있도록 팬을 설치하는 방안이 고려되어야 한다.

4) 방충망 확대

여름철 창문을 열어 둘 경우 벌레들이 실내로 들어오기 때문에 자연통풍을 통한 냉각효과를 기대할 수 있음에도 창문을 열지 않는 경우가 많다. 따라서 자연통풍을 방해하는 요소를 제거하기 위해 방충망 설치에 대한 고려가 필요하다.

5) 재실 감지센서

재실 감지센서는 사람들의 부재 여부를 감지

하고 조명을 자동으로 켜고 끄기 때문에 경우에 따라 조명 에너지 소비의 50% 이상을 절감토록 할 수 있다. 반면 실제 설치된 센서의 절감액은 훨씬 적을 수 있음을 염두에 두어야 한다. 따라서 특정 장소에 재질 감지센서를 설치하기 위해서는 사전에 그 실의 특성 파악이 중요하다. 자주 비워두는 공간인 창고, 저장실 등에서 효과적이다.

6) 조명 효율개선

IEA 보고서에 따르면 백열램프를 에너지 효율적인 소형 형광램프(CFL)로 교체할 경우 2030년까지 1.3조 달러의 에너지 비용절감과 6.4GtCO₂의 배출량이 감소한다고 한다. 현재 정부에서는 LED 보급 활성화, 모든 가전제품 대기전력 1W 달성, 백열전구 퇴출과 같은 사업이 추진 중에 있으며, 램프의 교체, 고조도 반사갓 사용 등을 통한 조명 효율개선이 필요하다.

7) 조명제어

조명제어는 실내에 설치된 주광센서를 이용하여 천공광에 의한 조도를 감지하여 창가 조명기구를 자동으로 On-Off시키는 방법과 조광장치(Dimmer)를 이용하여 램프의 밝기를 변화시켜 실내 조도를 적정수준으로 조정하는 방법이 있다. 자연채광 또한 자연에너지 활용 및 에너지 절약 측면에서도 매우 중요한 설계변수로 간주되고 있으므로 이를 위한 조명제어 또한 고려되어야 한다.

8) 환기

미국은 WBDG¹⁾를 통해 창문을 통한 자연환기를 건물에너지 절약을 위한 요소기술로 포함

하고 있다. 자연환기를 적용한 건물의 경우 공조 시스템을 이용한 건물에 비해 전체 에너지 소비의 약 10~30% 절약 효과와 공기의 습도를 줄이는 효과가 있다. 뉴욕시의 가이드라인에서와 같이 맞통풍을 고려한 건물의 배치 및 실 계획, 자동창의 설치, 골뚝효과 등 다양한 전략을 적용할 필요가 있다.

9) 에너지관리시스템(HEMS)

건물 관리자, 즉 주택의 거주자는 건물에너지 시스템이 효과적으로 운영되고 있는지 잘 모르기 때문에 시스템이 비효율적으로 운영되면서 에너지 절약 기회를 놓치고 있다. 따라서 건물 운영에 관한 종합적이면서도 효율적인 에너지 관리 시스템의 도입이 중요하다. 특히, 가정용 에너지 관리 시스템(Home Energy Management System)의 경우 다양한 가전기기들의 에너지 사용량을 실시간으로 모니터링하여, 거주자가 개별적으로 제어하여 효율적으로 에너지를 절약할 수 있다.



〈그림 2〉 Intel's intelligent home energy management platform

1) Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org>

3. 대지

1) 수목 식재

2007년 캐나다 토론토의 지속 가능한 에너지 플랜에 따르면, 3그루의 성숙한 나무는 평균적으로 가정의 냉방 소비량의 25~40%를 절감할 수 있다고 한다. 건물주변에 수목식재를 조성함으로써 온실가스, 스모그, 탄소를 저감시켜 공기질을 향상시키고, 소음차단 및 냉난방 효과개선에 도움을 줄 수 있다.

2) 수변공간 조성

일본의 경우, 지속적인 도시의 평균기온 상승에 따른 냉방에너지 소비량 증가와 겨울철의 이상고온으로 인한 질병률 증가를 막기 위하여 2008년 도쿄 마스터플랜에서 수변공간 조성을 계획하였다. 도시측면뿐 아니라 단독주택의 경우 또한 수변공간 조성을 통한 물의 열 흡수 및 증발산작용으로 건물 주변 미기후를 조절하여 에너지 절약 및 쾌적한 환경을 조성할 수 있다.

3) 포장색 조절

도로의 밝은색 포장은 반사율을 높여 도로 표면의 온도를 낮추므로 전체적인 도시 및 건물 주변의 기온에 영향을 준다. 캐나다 토론토에서는 2007년 지속 가능한 에너지 플랜에 따른 열섬현상 완화를 위해 시행된 Cool Cities 프로그램에서 도로 포장을 밝은색으로 사용하도록 하고 있다.

따라서 밝은색과 높은 알베도(반사율 30% 이상)의 포장을 사용하여야 하는 항목을 포함하고 있는 미네소타 주와 같이 국내에서도 단독주택 주변 포장면의 온도를 낮추기 위해 밝은색을 사용하도록 권장해야 한다.

4) 우수 및 중수 이용

버려지는 우수를 저류하여 용수공급 관련 에너지를 절감할 수 있다. 이를 위해 일본의 경우, 도쿄 마스터플랜 계획의 일환으로 용수공급, 빗물의 자연스런 유입을 통한 수변 공간 확보, 효율적인 우수의 재활용 방안을 제시하고 있다.

또한 사용된 수도물을 정화하여 조경용수 등으로 재활용할 수 있는 중수시스템을 설치함으로써 용수공급과 관련된 에너지를 절감할 수 있다.

5) 절수형 기구

절수 및 에너지 효율을 높이는 기구들을 사용함으로써 용수공급 및 온수 관련 에너지를 절약할 수 있다. 산타모니카에서는 2010 그린빌딩 가이드라인을 통해 물의 질을 향상시키면서, 소비량을 줄이고, 온수의 에너지 효율성을 개선하기 위한 다양한 절수기구들에 대한 필수조건을 제시하고 있다. 따라서 기존 건물의 리모델링 시 절수 및 에너지 효율을 높이는 신기구들로 교체하는 것이 권장된다.

III. 설문을 통한 요소기술의 정성적 효과

1. 설문 목적 및 개요

본 연구에서는 건물의 에너지 성능개선방안을 제안하기 위한 각 에너지성능요소별 에너지 절약 효과, 비용 절감 효과, 환경 효과를 판단하여 에너지성능개선에 효과적인 요소들을 추출하기 위해 몇 가지 요소에 국한된 정량적인 평가를 실시하기보다 다양한 항목에 관한 설문조사를 실시함으로써 우선적으로 적용해야 할 요소를 추출하는 것을 목적으로 하였다.

다양한 건축요소기술 중 앞서 추출된 성능개선요소를 바탕으로 단독주택에 적용 가능한 문항에 관하여 설문지를 실시하였다. 문항은 총 27개로 구성되며, 건물성능개선 시 가장 쉽게 실행할 수 있을 것으로 생각되는 단열 성능향상 및 창호 성능향상에 관한 문항은 각각 지붕과 벽체, 창틀 단열강화와 창틀 기밀성 개선으로 세분하여 설문하였다.

에너지 절약 효과, 비용 절감 효과, 환경 효과 3가지 평가 범주는 건물 성능개선을 위한 적용요소기술 선정에 관한 의사결정에 영향을 줄 수 있는 사항이다.²⁾ 우선 적용요소의 에너지 절약 효과는 건물 성능개선의 목적이 기존 건물의 성능 및 기능적인 효율 향상을 목표로 하기 때문에 요소기술 결정에 중요한 기준이 된다. 둘째, 에너지 절약에 따른 운영비용의 감소와 투자회수기간 등 비용관련 문제는 특히 건물 소유자와 사용자의 실제 성능개선요소 선정에서 민감한 사항이다. 셋째, 자연환경의 복원 및 환경에 관한 영향 최소화에 관한 환경적 측면은 국가적, 전 세계적인 관심사로 지속 가능한 건설에 있어 반드시 고려되어야 한다.

설문조사는 각 성능 개선요소들의 효과 정도를 평가하기 위해 각 요소에 관한 지식 및 실무경험 등이 있는 연구직, 설계자, 건축직 공무원으로 구성된 전문가 집단을 대상으로 하였다. 설문은 직접 방문하여 배부하고 즉시 회수하는 직접대면형과 E-mail을 활용하였으며, 회수된 설문지 중 43부를 분석에 이용하였다.

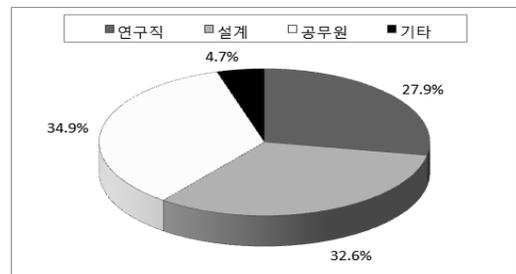
설문은 국내외 해외사례를 통해 추출된 개선요소 항목을 대상으로 에너지 절약 효과, 비용 절감 효과, 환경 효과의 정도를 평가하도록 하였다.

또한 각 설문에 관한 분석은 SPSS 12.0 프로그램을 이용하였으며, 통계처리를 통해 각 문항별 빈도, 평균, 우선순위분석을 실시하였다.

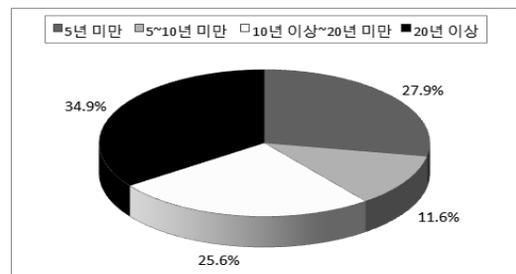
2. 설문 결과 및 분석

1) 기본사항

설문조사는 전문가 집단으로 교수를 비롯한 연구직, 설계자, 건축직 공무원을 대상으로 하였다. 설문대상의 비율은 연구직이 32.6%, 설계자가 32.6%, 공무원이 34.8%로 세 가지 직종이 거의 유사한 비율로 나타났으며, 대상자의 경력은 20년 이상 경력자가 34.9%, 10년 이상~20년 미만인 경우가 25.6%, 5년 이상~10년 미만이 11.6%, 5년 미만이 27.9%로 오랜 기간 관련 직종에 종사한 전문가 집단의 비중이 높다.

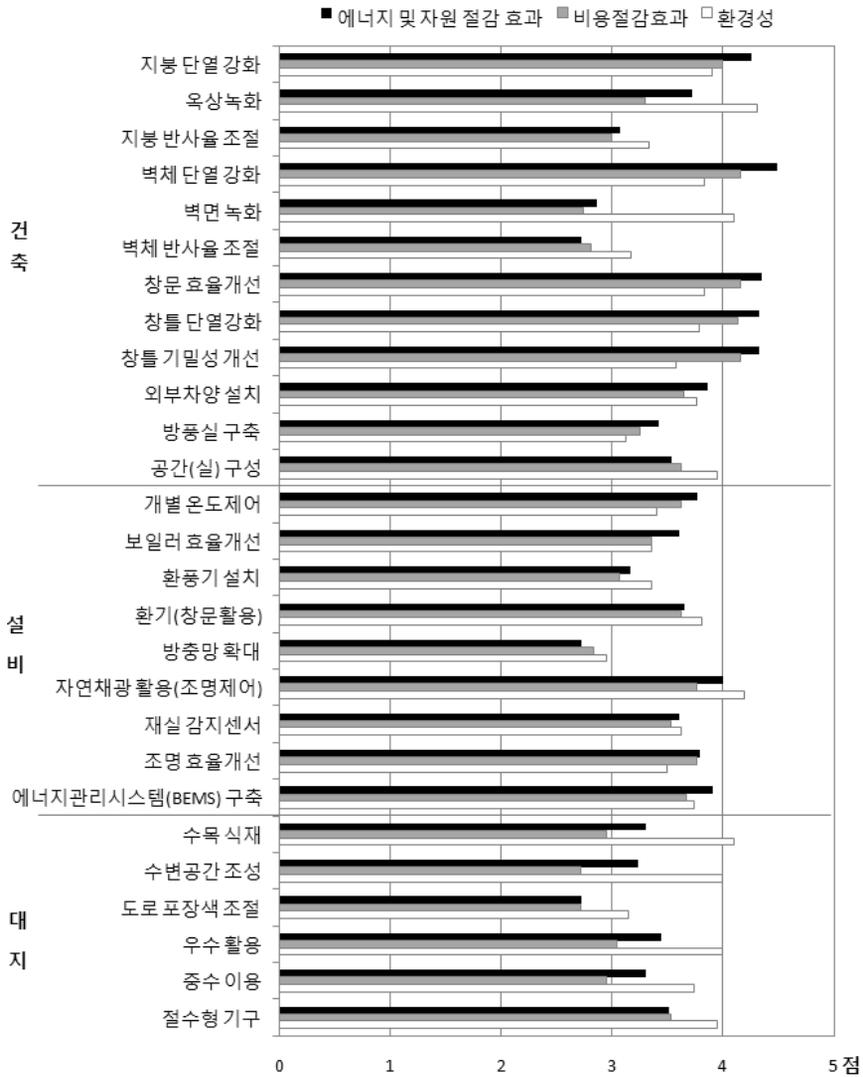


〈그림 3〉 설문 응답자 비율



〈그림 4〉 설문 응답자 경력

2) 미국 에너지환경정책연구소에서는 환경정의 시행 웨더라이제이션에 대한 평가를 위하여 프리즘 모델과 계량경제학 모델 등을 통하여 에너지 절감, 경제적 효율성, 환경보전 기여의 정도를 측정하고 있다.



〈그림 5〉 요소기술의 효과에 대한 설문결과

2) 에너지 절약효과

에너지 절약효과에 관한 설문은 국내외 건축 관련 가이드라인 및 법규를 통해 결정된 건물 성능개선 요소기술에 관한 항목에 관하여 실시되었으며, 각 효과 정도는 요소별로 5점 척도에 따라 평가하였다. 각 점수는 5점 만점에 그 평균 점수가 높을수록 그 효과가 크다.

설문조사 결과, 에너지 절약효과는 <표 2>와 같이 건축계획 부분이 평균 3.65점으로 공조시

스템 및 환기시스템이 가장 크고, 다음으로 설비 부분이 3.58점, 대지부분이 3.25점으로 나타났다. 요소별 에너지 절약효과의 1~10순위까지의 요소기술은 1순위로 벽체 단열강화 4.49점, 2순위로 창문 효율개선 4.35점, 3순위로 창틀 단열강화와 창틀 기밀성 개선이 각각 4.33점으로 나타났다. 1~10순위의 요소 중 5순위까지 상위를 차지하는 요소들은 건축계획 부분에 해당하는 요소기술들이었다.

〈표 2〉 요소기술 효과 점수 및 순위

효과	구분	평균 점수	순위	에너지성능개선요소	평균
에너지	건축	3.65	1	벽체 단열강화	4.49
			2	창문 효율개선	4.35
			3	창틀 단열강화	4.33
	설비	3.58	3	창틀 기밀성 개선	4.33
			5	지붕 단열강화	4.26
			6	조명제어	4.00
			7	에너지관리시스템 구축	3.91
	대지	3.25	8	외부차양 설치	3.86
			9	조명 효율개선	3.79
			10	개별 온도제어	3.77
비용	건축	3.52	1	벽체 단열강화	4.16
			1	창틀 기밀성 개선	4.16
			1	창문 효율개선	4.16
	설비	3.42	4	창틀 단열강화	4.14
			5	지붕 단열강화	4.00
			6	조명제어	3.77
			6	조명 효율개선	3.77
	대지	2.99	8	에너지관리시스템 구축	3.67
			9	외부차양 설치	3.65
			10	개별 온도제어	3.63
환경	건축	3.66	1	옥상녹화	4.31
			2	조명제어	4.20
			3	벽면녹화	4.10
	설비	3.54	3	수목식재	4.10
			5	수변공간 조성	4.00
			5	우수 활용	4.00
			7	절수형 기구	3.95
	대지	3.82	7	공간(실) 구성	3.95
			9	지붕 단열강화	3.90
			10	벽체 단열강화	3.83

3) 비용 절감효과

비용 절감효과에 관한 설문조사 결과, 건축계획 부분의 요소들이 평균 3.52점으로 가장 크고,

설비부분이 3.42점, 대지부분이 2.99점 순으로 나타났다. 요소기술별 비용 절감효과는 벽체 단열강화, 창틀 기밀성 개선, 창문 효율개선이 각각 4.16점으로 그 효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 에너지 절약 효과와 마찬가지로 1~5순위에 해당하는 요소기술들은 전부 건축계획 부분으로 비용 절감효과 역시 다른 부분에 비해 건축계획 부분에서 얻을 수 있는 효과가 더 큰 것으로 나타났다.

4) 환경성

환경성에 관한 설문조사 결과는 에너지 및 비용 절감효과와 달리 대지부분이 평균 3.82점으로 가장 크게 나타났고, 다음으로 건축계획 부분이 3.66점, 설비부분이 3.42점으로 나타났다. 요소기술별 환경성 순위는 옥상녹화가 4.31점으로 1순위, 조명제어가 4.20점으로 2순위, 벽면녹화와 수목식재가 각각 4.10점으로 3순위로 나타났다. 환경성이 높은 요소기술은 대부분이 대지부분에 해당하는 요소들로 녹화, 수목식재, 수변공간과 같은 자연친화적인 요소들이 환경성이 높다고 평가되었다.

5) 단독주택의 성능개선 우선요소

건물에 우선적으로 적용해야 할 성능개선 요소기술을 선정하기 위해 에너지 절약효과, 비용 절감효과, 환경성의 3가지 관점에 따른 중요도에 따라 요소기술 선정의 내용이 달라진다.

각 요소기술의 선정에 있어서는 건물 소유주나 사용자의 가치판단에 따라 달라질 수 있다. 그러나 본 연구에서는 일반적인 선택 가이드라인을 제공하기 위해 모든 관점을 고려한 최적의 요소기술을 제안한다. 따라서 우선적으로 건물에 적용해야 할 요소기술을 선정하기 위해 각 요소에 관한 쌍

대 비교를 실시하여 각 관점에 대한 가중치를 산출하였다.

쌍대비교의 결과를 이용하여 모든 수준을 구성하는 평가항목들의 상대적 가중치를 추정하고 얻어진 각 평가항목별 가중치에 대해 일관성 검증을 통한 신뢰성 검증을 실시하였다. 일관성지수는 그 값이 0인 경우 완벽한 일관성을 가지며, 부정확할수록 그 값이 커져 0.1을 초과하면 일관성이 무의미한 것을 의미한다. 따라서 일관성 지수 0.1을 초과한 값을 제외한 설문응답에 대한 평균 가중치를 산정하였다. 또한 알파계수법을 통한 신뢰도를 분석하였으며, 신뢰도 계수(Cronbach's alpha)는 0.6 이상으로 신뢰할 수 있는 값을 가진다.

가중치 산정 결과는 <표 3>과 같이 에너지 절약효과가 0.42, 비용 절감효과가 0.21, 환경 효과가 0.37로, 에너지 절약효과 > 환경효과 > 비용 절감효과 순으로 나타났다.

설문을 통해 도출된 요소기술은 각 효과별 점수에 산정된 가중치를 적용하여 점수화하였다. 그에 따른 성능개선 요소의 우선순위는 <표 4>와 같다. 1~5순위까지 벽체 단열강화 > 창문 효율개선 > 옥상녹화 > 창틀 단열강화 > 기밀성 개선으로 나타났다. 1~5순위까지의 요소 모두 건축 요소로 나타났다. 옥상녹화가 높은 순위를 차지하는데 단독주택이 다른 건물에 비해 상대적으로 적용이 용이하기 때문인 것으로 판단된다.

<표 3> 가중치 산정 결과

가중치 산정 결과			평균 일관성지수
에너지 절약	비용 절감	환경	
0.42	0.21	0.37	0.019

<표 4> 단독주택의 건물성능개선 우선요소

순위	건물성능개선 요소	순위	건물성능개선 요소
1	벽체 단열강화	6	지붕 단열강화
2	창문 효율개선	7	조명제어
3	옥상녹화	8	공간(실) 구성
4	창틀 단열강화	9	보일러 효율개선
5	창틀 기밀성 개선	10	벽면녹화

IV. 시뮬레이션을 이용한 정량적 평가

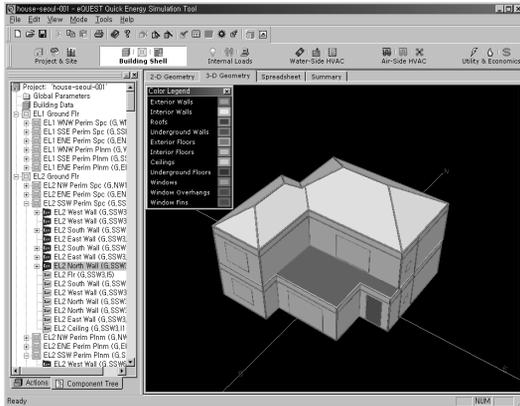
1. 시뮬레이션 목적 및 개요

설문조사를 통하여 단독주택의 에너지 성능개선을 위해 우선적으로 적용 가능한 요소기술을 추출하였다. 각 요소기술은 전문가의 경험적 판단에 의한 결과로 각 요소기술에 관한 객관적인 에너지 성능개선 효과 분석이 필요하다. 따라서 시뮬레이션을 통하여 각 요소기술 적용 시 에너지 절약효과를 분석하였다.

1) 시뮬레이션 프로그램 및 표준 단독주택 모델 선정
 사용한 시뮬레이션 프로그램은 e-QUEST(the QUick Energy Simulation Tool)로 미국 에너지성(DOE: Department of Energy)의 지원으로 Lawrence Berkely Lab.에서 개발된 DOE-2를 기반으로 마법사 기능과 그래픽 기능을 부가하여 자료의 입력과 출력이 용이하도록 간편화된 틀이다.

시뮬레이션을 위해 적용된 표준단독주택이란 선행연구(한국에너지기술연구원, 2001)에서 제안한 45평형의 복층 단독주택으로 정의한다. 이 연구에 따르면, 실제 살고 있는 주택의 평균 규모는 20~35평, 3~4실, 장단변비는 1:1~1:1.5, 유

리창 면적비는 20~30%이며, 25평형, 35평형, 45평 복층형을 표준평면형으로 제안하였다.



〈그림 6〉 e-QUEST를 이용한 에너지 성능분석

주택의 유형은 70, 80년대 주택보급사업으로 거의 획일화되었으며, 건설부 “단독주택 표준 설계에 관한 연구(1979)”에서도 전국적 조사에서 평면, 입면, 내부마감재, 지붕형태, 주요 구조재에 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 서울에 위치하는 대다수의 단독주택이 1980년대에 다수 건설되었으므로 현재의 상황을 반영하며, 단층보다 복층형이 다가구가 생활하는 서민형 단독주택 모형에 더 적합할 것으로 판단된다.

2) 시뮬레이션 모델 개요 및 설정값

창호 및 개구부, 구조체의 구성 정보는 평면 및 대한주택공사에서 실시한 연구(1983)를 기초로 작성하였다.

단독주택의 건축면적은 87.7㎡의 철근콘크리트조이며, 건물의 층고는 2.7m, 천장고는 2.3m, 층수는 2층이다. 전체 창면적비는 15.7%이며, 방위는 거실과 안방이 정남(0°)을 향하도록 설정하였다.

실내온도의 경우 에너지절약 설계기준에서 20℃

로 권장하고 있으나 실제 사용은 21~26℃(심윤희, 2006)로 이루어지므로 본 연구에서는 기존문헌자료를 참고하여 난방 설정온도를 21℃, 냉방 설정온도를 26℃로 설정하였다.

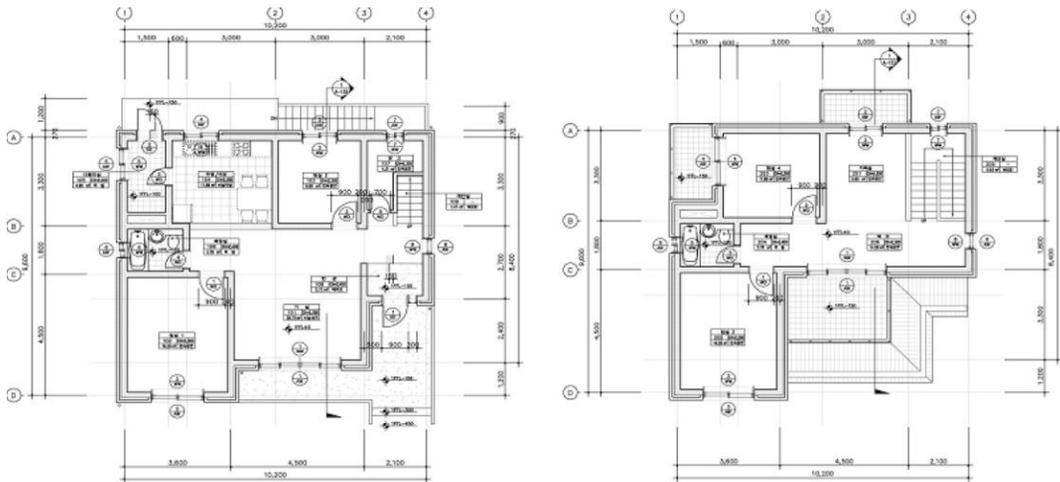
환기 횟수의 국내 법적기준치는 0.7회/h이나 실제 단독주택의 사용조건을 반영하기 위해 단독주택의 환기횟수 실측에 관한 문헌자료(윤종호 외, 2008)를 참고하여 0.82회/h로 설정하였다. 시뮬레이션을 위한 단독주택 기준 모델 구조체의 외피 구성 및 각 재료의 성능은 〈표 6〉과 같으며, 〈표 5〉의 설정값을 반영한 표준모델의 에너지 소비량과 각 에너지성능개선요소 적용 후의 에너지 소비량을 비교분석하기 위해 표준모델을 기준으로 단열재 두께 조절에 의한 벽체 단열성능개선, 유리의 종류 변경에 따른 창문 효율개선, 옥상녹화 여부, 창틀의 교체 및 기밀성 개선에 관한 시뮬레이션을 실시하였다. 표준모델의 에너지원단위 시뮬레이션 결과값은 264.1kWh/㎡년으로, 단독주택의 에너지원단위에 관한 연구(김주영 외, 2009)에서 실측값이 298.9kWh/㎡년으로 볼 때 약 11% 부하가 더 작은 것으로 나타났다.

〈표 5〉 시뮬레이션 모델 개요

내용	건축개요
건축면적	87.7㎡
연면적	154㎡
창면적비	15.7%
건물규모	지상 2층
거주자 수	4인
설정온도	난방 21℃, 냉방 26℃
환기횟수	0.82회/h
방향	정남향

〈표 6〉 기준 모델의 구조체 구성 및 성능

구조체		두께(mm)	열전도율(W/mK)	R-value(m ² K/W)
지붕	슬레이트	9	1.500	0.006
	몰탈	30	1.400	0.021
	콘크리트	120	1.600	0.075
	공기층	50	0.086	0.430
	단열재	50	0.036	1.389
	합판	12	0.150	0.080
	천장지	1	0.210	0.002
외벽	붉은 벽돌	90	0.780	0.115
	단열재	50	0.036	1.389
	공기층	50	0.086	0.430
	시멘트 벽돌	90	0.600	0.150
	시멘트 몰탈	20	1.400	0.014
	초배지	1	0.210	0.002
최하층 바닥	콘크리트	120	1.600	0.075
	방습층		0.210	0.001
	단열재	50	0.036	1.389
	콘크리트	150	1.600	0.094
	자갈	100	1.600	0.063
	몰탈	30	1.400	0.021
	초배지	1	0.210	0.002
창호	18T 복층 창호(열교차단재 미적용)		4.190W/m ² K	
문	18T 복층 문(열교차단재 미적용)		3.800W/m ² K	



〈1층 평면〉

〈2층 평면〉

〈그림 7〉 표준단독주택 평면

2. 성능개선 요소의 에너지 절약 효과

1) 벽체 단열성능 개선

벽체의 단열성능은 단열재의 두께에 따라 크게 좌우된다. 단독주택의 경우 80년대 건설 붐에 의해 지어져 단열규정이 적용되지 않았을 뿐 아니라 설치된 단열재 역시 노후화로 인하여 제 기능을 충분히 발휘하지 못하고 있다. 따라서 벽체 단열성능 개선을 통한 에너지 절약효과를 알아보기 위해 시뮬레이션 모델 외벽의 단열재 두께를 0~200mm까지 50mm씩 늘려가며 시뮬레이션을 실시하였다.

단열재 설치 두께에 따른 건물 에너지 절약을 및 CO₂ 저감량은 <표 7>과 같다. 에너지 소비량은 단열재를 설치하지 않은 경우에 비해 50mm 설치한 경우 연간 82.5kWh/m²를 절감하여 23.8%, 100mm일 때 연간 99.7kWh/m²로 28.8%, 150mm일 때 107kWh/m²로 30.9%, 200mm일 때 111kWh/m²로 32.0% 절감 가능한 것으로 나타났다. 단열재가 이미 50mm 설치되어 있는 경우 그 기능을 발휘하고 있다고 가정한다면, 100mm로 교체하였을 경우 이전에 비해 6.5%, 150mm로 교체한 경우 9.3%, 200mm로 교체한 경우 10.8%의 에너지 소비량을 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

<표 7> 단열재 설치에 따른 에너지 절약을 및 CO₂ 저감량

설치두께	에너지소비량 (kWh/m ² 년)	에너지절약률 (%)		CO ₂ 저감량 (kgCO ₂ /m ² 년)
무단열	346.6	-	-	-
50mm	264.1	23.8	-	17.1
100mm	246.9	28.8	6.5	20.8
150mm	239.6	30.9	9.3	22.3
200mm	235.6	32.0	10.8	23.1

단열재 설치 두께가 증가할수록 건물의 에너지

소비량도 감소되는데, 그 두께가 증가함에 따라 절감은 감소한다. 즉, 단열재 100mm를 설치한 경우 50mm를 설치한 경우보다 5% 절감되고, 150mm를 설치한 경우는 2.1%, 200mm인 경우 1.1% 절감된다.

단열재의 설치로 인해 에너지 소비가 절감되어 17.1~23.1kgCO₂/m²년을 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 이 결과값은 일반적으로 소나무 1그루당 연간 5kg의 탄소를 흡수한다고 볼 때, 단위면적당 발생하는 탄소를 저감하기 위해서 소나무 3~5그루를 심어야 한다는 의미와 같다.

2) 창문 효율 개선

창문의 열성능은 유리의 종류에 따라 크게 달라진다. 본 연구에서는 단판유리, 복층유리, 복층로이유리, 삼중유리를 적용하였을 경우에 대해 시뮬레이션하였으며, 각 유리의 물성치는 다음 <표 8>과 같다.

<표 8> 유리 종류별 물성치

유리 종류	두께 (mm)	열관류율 (W/m ² K)	SHGC	SC	VT
Single Clear	6	5.463	0.82	0.95	0.94
Double Clear	6/6/6	2.828	0.69	0.81	0.78
Double Low-E	6/6/6	1.986	0.68	0.79	0.79
Triple Clear	3/6/3/6/3	1.919	0.66	0.77	0.72

- SHGC(Solar Heat Gain Coefficient): 일사열취득계수
- SC(Shading Coefficient): 차폐계수
- VT(Visible Transmittance): 가시광선 투과율

<표 9>는 각 유리 종류에 따른 에너지 절약을 및 CO₂ 저감량을 보여 준다. 전체 에너지 소비량은 복층유리를 적용한 경우 단판유리를 적용한 경우에 비해 연간 14kWh/m², 즉 5.0%의 에너지 절약효과를 갖는다. 로이유리를 적용한 경우 6.5%, 삼중유리를 적용한 경우 7.9%의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 이로 인

해 3.0~4.8kg CO₂/m²년을 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 복층유리를 복층로이유리로 교체한다면 기존 에너지 소비량의 1.6%, 삼중유리로 교체한다면 3.0%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

〈표 9〉 유리 종류에 따른 에너지 절약을 및 CO₂ 저감량

유리 종류	에너지소비량 (kWh/m ² 년)	에너지절약률 (%)		CO ₂ 저감량 (kgCO ₂ /m ² 년)
Single Clear	278.1	-		-
Double Clear	264.1	5.0	-	3.0
Double Low-E	260.0	6.5	1.6	3.9
Triple Clear	256.2	7.9	3.0	4.8

3) 옥상녹화

건물 옥상녹화를 할 경우 에너지 성능은 녹화 지붕을 구성하는 각 재료의 물성치에 영향을 받기도 하지만 식재된 식물의 태양열 흡수 및 반사 정도, 증발산효과에 따른 영향을 받게 된다. 그러나 본 연구에서는 시뮬레이션의 한계로 인해 옥상녹화 재료에 따른 물성치만을 반영하였다. 〈표 10〉은 각 구성 재료의 두께 및 물성치를 보여 준다.

〈표 10〉 옥상녹화 재료 물성치

재료	두께(mm)	열전도율(W/mK)
잔디	50	0.09
토양	90	0.22
부직포	3	0.07
배수층	50	0.36

〈표 11〉 옥상녹화에 따른 에너지 절약을 및 CO₂ 저감량

지붕형태	에너지소비량 (kWh/m ² 년)	에너지 절약을 (%)	CO ₂ 저감량 (kgCO ₂ /m ² 년)
일반지붕	264.1	-	-
옥상녹화	252.8	4.3	2.5

시뮬레이션 결과, 녹화를 하지 않은 일반 슬레이트 지붕에 비해 옥상녹화 시 연간 11.3kWh/m² (4.3%)의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 옥상녹화를 통해 2.5kgCO₂/m²년의 탄소를 저감할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 기본 모델의 지붕재 구성에 옥상녹화 재료를 추가하였을 경우에 관하여 에너지 성능을 평가하였는데, 옥상녹화뿐만 아니라 지붕의 단열성능을 함께 향상시킨다면 더 많은 에너지를 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 재료의 물성치만을 고려하여 에너지 성능을 평가하였으나 지붕표면의 흡수율 및 반사율, 식물의 증발산효과를 통해 낮은 온도의 지붕을 유지할 수 있다는 점을 고려한다면 실제 에너지 절약 효과는 시뮬레이션 결과값 이상일 것이다.

4) 창틀 단열 및 기밀 성능 개선

창틀의 단열 및 기밀 성능 개선은 앞의 설문을 통한 우선적용 요소의 4, 5위를 차지한 요소로서 창호의 전반적인 성능 향상을 위해서는 유리의 성능 향상과 함께 고려되어야 할 중요한 요소이다.

창틀의 구성재는 e-QUEST 프로그램의 Library에 있는 알루미늄 창틀, 열교차단 처리된 알루미늄 창틀, 목재-알루미늄 창틀, 목재-Vinyl 창틀, 단열 창틀을 대상으로 시뮬레이션을 하였다.

〈표 12〉는 창틀 종류에 따른 에너지 절약을 보여준다. 가장 열성능이 낮은 것은 알루미늄창틀로, 이것을 열교차단 처리된 알루미늄창틀로

교체했을 경우 연간 5.2kWh/m²(2.0%), 목재-알루미늄창틀로 교체했을 경우 6.9kWh/m²(2.6%), 목재-Vinyl창틀일 경우 7.2kWh/m²(2.7%), 단열창틀일 경우 8.6kWh/m²(3.3%)를 절감할 수 있다. 창틀의 경우 알루미늄창틀 이외에 다른 창틀을 사용할 경우 에너지 성능이 크게 달라지지 않는으나, 상대적으로 열전도율이 낮은 창틀을 사용하는 것이 에너지 효율 향상을 위해 적합하다.

〈표 12〉 창틀 종류에 따른 에너지 절약률 및 CO₂ 저감량

창틀 종류	에너지소비량 (kWh/m ² 년)	에너지 절약률 (%)	CO ₂ 저감량 (kgCO ₂ /m ² 년)
알루미늄	264.1	-	-
알루미늄 (열교차단)	258.9	2.0	1.3
목재-알루미늄	257.2	2.6	1.6
목재-Vinyl	256.9	2.7	1.7
단열	255.5	3.3	2.0

환기횟수를 기존의 0.82회/h에서 국내 기준치인 0.7회/h로 향상시킬 경우 〈표 13〉과 같이 에너지가 연간 9.3kWh/m²만큼 감소하여 기존 대비 3.5%의 에너지를 절감할 수 있다. 이 결과 값은 창틀을 교체했을 때의 에너지 절감량보다 크게 나타나 설문조사 결과 순위와는 반대로 나타났다. 설문조사 결과가 경험적 판단에 의한 것이고, 그 차이가 매우 미미한 점을 고려한다면, 창틀의 단열 성능 향상과 기밀성 향상 순위를 따지기보다 그 중요도가 거의 같다고 봐야 할 것으로 판단된다. 또한 창틀의 교체 시 틈새에 대한 시공 방법 등에 따라 건물의 기밀성능에 영향을 미치므로 두 가지 요소기술의 적용은 함께 고려되어야 한다.

〈표 13〉 환기횟수에 따른 에너지 절약률 및 CO₂ 저감량

환기횟수	에너지소비량 (kWh/m ² 년)	에너지 절약률 (%)	CO ₂ 저감량 (kgCO ₂ /m ² 년)
0.82회/h	264.1	-	-
0.7회/h	254.8	3.5	2.0

V. 건물성능개선 요소기술별 효과

건물성능개선 요소기술별 효과정도는 다음 〈표 14〉와 같이 간략하게 나타낼 수 있다. 효과정도는 각 설문결과를 바탕으로 효과별 순위에서 1~5순위는 '상(●)', 6~15위는 '중(◎)', 그 이하는 '하(○)'로 표현하였다. 이 효과는 부문별 상대적인 값이다.

또한 시뮬레이션을 이용하여 정량적인 평가가 가능한 요소기술(단열강화, 창문 효율개선, 옥상녹화, 창틀 및 기밀성 개선)의 에너지성능 평가를 반영하였다. 옥상녹화의 경우 설문에 의한 에너지 절감효과는 하(○)로 평가되었으나, 시뮬레이션 결과 연간 에너지 절약률이 4.3%로 단열강화 시 6.5%인 것을 감안하여 중(◎)으로 대체하였다.

전체 요소기술 중 가장 효과적인 것은 3가지 평가 범주에서 모두 높게 평가된 지붕 단열강화이며, 두 개 부문에서 높게 평가된 요소기술로는 벽체 단열강화, 창문·창틀 효율개선, 외부차양 설치, 자연채광(조광제어)으로 나타났다. 전반적으로 높은 에너지 절감효과가 있는 요소기술은 건축물 부문이며, 대지 요소기술의 경우 환경성은 높지만 비용측면에서는 절수형 기구 사용에 관한 효과 이외에는 모두 낮았다. 이는 건물 소유주 또는 사용자가 건물성능개선을 위한 요소기술을 선택 시 기준이 될 수 있다.

〈표 14〉 건물성능개선 요소기술별 효과

건물성능개선 요소		에너지	비용	환경
건축	지붕 단열강화	●	●	●
	옥상녹화	◎	◎	●
	지붕 반사율 조절	○	○	○
	벽체 단열강화	●	●	◎
	벽면녹화	○	◎	●
	벽체 반사율 조절	○	○	○
	창문·창틀 효율개선	●	●	◎
	외부차양 설치	●	●	◎
	방풍실 구축	◎	◎	○
	공간(실) 구성	◎	◎	●
설비	개별 온도제어	◎	◎	○
	보일러 효율개선	◎	◎	○
	공조시스템 용량 최적화	◎	◎	◎
	환풍기 설치	◎	○	○
	배기열 회수, 환기	◎	◎	◎
	환기시스템 용량 최적화	◎	○	◎
	방충망 확대	○	○	○
	자연채광(조광제어)	◎	●	●
	채실 감지센서	◎	◎	◎
	조명 효율개선	◎	●	◎
대지	에너지관리시스템 구축	●	◎	◎
	수목식재	◎	○	●
	수변공간 조성	◎	○	●
	도로 포장색 조절	○	○	○
	우수활용	◎	○	●
	중수이용	◎	○	◎
	절수형 기구	◎	◎	●

상: ●, 중: ◎, 하: ○

VI. 결론

본 연구는 단독주택의 성능개선에 관한 정책과 가이드라인을 마련하는 데에 근거를 제공하기 위한 기초 연구 단계로서, 사례조사를 통해 성능개선 우선 적용 요소기술을 선정하고, 시뮬레이션을 이용하여 그 요소기술들의 타당성을 분

석하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같다.

1) 건물 성능개선을 위한 요소기술은 국내외 사례조사를 통하여 추출하였으며, 전문가 설문조사를 통해 에너지 및 비용 절감효과와 환경 효과를 고려하여 우선적으로 적용해야 할 요소기술을 도출하였다. 또한 건물 성능개선을 위한 요소기술 선정에 있어 각 효과가 미치는 중요도에 관한 쌍대비교를 통해 가중치를 산정한 결과, 중요도는 에너지 절약효과 > 환경효과 > 비용 절감효과 순이다.

2) 가중치를 고려한 건물성능개선 요소는 벽체 단열강화 > 창문 효율개선 > 옥상녹화 > 창틀 단열강화 > 기밀성 개선 순이다.

3) 설문조사를 통해 선정된 에너지 성능개선 요소는 전문가의 경험적 판단에 의한 결과와 함께 정량적 분석이 가능한 5가지 요소기술에 한하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 결과, 단열재의 설치로 인한 에너지 절약효과가 가장 큰 것으로 나타났다. 단열재의 두께 증가에 따라 20% 이상 에너지 소비량이 감소하고, 무단열에서 100mm까지는 에너지 소비량이 급격히 감소하지만, 150mm 이상 설치 시 감소 정도가 작아지고 있다. 따라서 단열재 설치 두께의 선정은 상황에 적합하게 절감률 및 초기 투자비 등을 고려하도록 한다.

4) 유리의 종류에 따른 에너지 소비량은 단판유리를 복층유리로 교체할 경우 5% 절감이 가능한 것으로 나타났으며, 복층유리를 로이유리나 삼중유리로 교체할 경우 각각 1.6%, 3.0% 정도의 에너지 절약효과를 나타내 그 정도가 미미하였다. 로이유리나 삼중유리는 복층유리에 비해 가격이 1.5~2배 이상 높기 때문에 창의 효율성 개선을 위해서는 최소 복층유리를 사용하며, 로이유리 및 삼중유리는 필요에 따라 적용하도록 한다.

5) 옥상녹화 시 일반지붕에 비해 4.3%의 에너

지 절약효과가 있으며, 지붕의 단열성능을 함께 향상시킨다면 더 많은 에너지를 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 지붕표면의 흡수율 및 반사율, 식물의 증발산효과를 통해 실제 에너지 절약효과는 더 커질 것으로 예상된다.

6) 창틀의 단열성능 향상과 기밀성능 향상은 각각 2~3% 정도 에너지 절약효과를 갖으며, 창틀의 교체 시 틈새에 대한 시공방법 등에 따라 건물의 기밀성능에 영향을 미치므로 두 가지 요소기술의 적용은 함께 고려되어야 할 것이다.

7) 설문결과를 바탕으로 각 효과정도에 관하여 표로 간략하게 제시하였으며, 이 표는 건물 소유자 개개인의 가치판단에 따라 건물성능개선요소를 선택할 수 있는 선택형 가이드라인 제안을 위한 기초자료로 이용될 수 있을 것이다.

시뮬레이션은 각 요소의 적용에 따른 기존 건물의 성능개선효과 검증에 그 목적을 두었다. 그러나 실제 건물에서 그 향이 모두 남향으로 배치되지 않으므로, 개선효과 분석 시 실제와 같은 다양한 향을 고려할 수 있도록 실증연구가 후속되어야 할 것이다.

본 연구에서는 성능개선요소 적용에 관한 에너지 시뮬레이션을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 기존 단독주택의 성능개선을 위한 계획 시 필요한 기초 데이터 제공 및 추후 관련 정책, 가이드라인 작성이 가능할 것이다.

참고문헌 _____

국토해양부, 2010, 『친환경건축물인증기준』.
 김주영 · 김유란 · 홍원화, 2009, “대구광역시 단독주택의 에너지 및 온실가스 배출원단위 작성에 관한 연구”, 『한국주거학회 학술발표대회 논문집 2009』, 2(추계), 한국주거학회.
 대한주택공사, 1983, 『단독주택 표준 설계도 작성에 관한

연구』.
 심윤희, 2006, “서울지역 공동주택의 난방에너지 표준사용량 산정에 관한 연구”, 광운대학교 석사학위논문.
 에너지환경정책연구소, 2008, 『환경정의 시행 저소득층 웨더라이제이션 지원사업의 에너지, 경제, 환경적 효과평가』, 텔라웨어 대학.
 윤중호 · 박재완 · 이광성 · 백남춘 · 신우철, 2008, “충청지역 단독주택의 기밀성능 실측 연구”, 『한국태양에너지학회 논문집』, 28(5), 한국태양에너지학회.
 임경업 · 김빛나 · 이철성 · 윤중호 · 진경일, 2009, “농촌주택에 적합한 제로에너지 하우스의 프로토타입 연구”, 『한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집』, 한국태양에너지학회.
 정재웅 · 석호태, 2008, “벽면 및 옥상 녹화에 따른 학교건물의 에너지성능 평가에 관한 연구”, 『한국친환경설비학회 추계학술발표회 논문집』, 한국친환경설비학회.
 한국에너지기술연구원, 2001, 『에너지 절약형 건물의 성능인증기준 · 제도 및 보급촉진방안 연구』.
 허정호 · 권한술 · 한수곤 · 임병찬, 2006, “공조시스템 최적화를 통한 건물 에너지 절감 사례 연구”, 『대한설비공학회 논문집』, 18(5), 대한설비공학회.
 Al-Hornoud, M., 1997, “Optimum thermal design of office buildings”, *International Journal of Energy Research*, 21.
 Austin Energy Green Building, 2008, *Austin Energy Green Building Single family home Guidebook*, U.S.
 _____, 2009, *Austin Energy Green Building Commercial Guidebook*, U.S.
 Building Research Establishment Ltd(BRE), BREEAM Office, 2006, *EcoHomes XB 2006*, U.K.
 Center for Sustainable Building Research, 2009, *The State of Minnesota Sustainable Building Guidelines (MSBG) For New Buildings and Major Renovations Version 2.1*, University of Minnesota.
 City of Benicia, 2009, *Climate Action Plan*, U.S.
 City of Chicago, 2003, *Best Practices for GB in Chicago*, U.S.
 City of Evanston, 2008, *Evanston Climate Action Plan 2008*, U.S.

- City of Los Angeles Harbor Department, 2007, *Climate Action Plan*, U.S.
- City of New York, Urban Green Council, 2010, *New York City Green Codes Task Force*, U.S.
- City of Santa Monica, 2010, *Santa Monica Residential Green Building Guide*, U.S.
- Delaware State Energy Office, 2000, *Climate Change Action Plan*, U.S.
- Energy Efficiency Office in Toronto, 2007, *Energy Efficiency & Beyond on Toronto's Sustainable Energy Plan*, Canada.
- Mairie de Paris, 2007, *The Paris Climate Protection Plan 2007*, France.
- Ministry of Transport, Building and Housing, 2001, *Guideline for Sustainable Building*, Germany.
- The Alameda County Waste Management Authority & Source Reduction and Recycling Board, 2004, *Home Remodeling Green Building Guidelines*, U.S.
- The State of Victoria, 2003, *Environmentally Sustainable Design and Construction*, Australia.
- Tokyo Metropolitan Government, 2008, *Tokyo Metropolitan Environmental Master Plan*, Japan
- U.S. Green Building Council(USGBC), 2009, *LEED for Existing Buildings*, v3, U.S.
- Wetter, M., 2004, *Generic Optimization Program User manual Version 2.0.0*, University of California, U.S.
- Whole Building Design Guide, <http://www.wbdg.org>

원 고 접 수 일 : 2010년 6월 24일

1차심사완료일 : 2010년 8월 3일

2차심사완료일 : 2010년 8월 17일

최종원고채택일 : 2010년 8월 20일