



저소득층 에너지효율개선사업에 따른 난방에너지 절감 효과 및 경제성 분석 - 저소득층 단독주택 단열개선을 중심으로 -

Heating Energy Saving and Cost Benefit Analysis According to Low-Income Energy Efficiency Treatment Program

- Case Study for Low-Income Detached Houses Energy Efficiency Treatment Program

김정국* · 이정훈* · 장철용** · 송두삼* · 류승환** · 김종훈***

Kim, Jeong-Gook* · Lee, Junghun* · Jang, Cheolyong** · Song, Doosam* · Yoo, Seunghwan** · Kim, Jonghun***

* Dept. of Architectural Engineering, Sungkyunkwan Univ, South Korea (kimjg@kier.re.kr)

** Coauthor, Energy Saving Laboratory, Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research, South Korea (cyjang@kier.re.kr)

*** Corresponding author, Energy Saving Laboratory, Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research, South Korea (jonghun@kier.re.kr)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to analyze the energy saving and cost benefit analysis of the Low-income Energy Efficiency Treatment Program supported by KOREF(Korea Energy Foundation). This program was launched in 2007 and performs building energy retrofit for the low-income and energy poverty houses. **Method:** Energy simulation and cost benefit analysis were accomplished for the low-income detached houses. The structure of detached house was a lot og block structure, wood frame (single glass) and concrete roof. Baseline model of the low-income detached houses was proposed. **Result:** Annual heating energy consumptions were decreased by about 3.2% with the window system replacement(Case 1), 9.3% with reinforcement of insulation(Case2), and 12.5% with both(Case 3) compared to those of baseline model. The construction cost will be recouped within 5 years for the Case 1, 3 years for the Case 2, and 3 years for the Case 3. Case 3 was the most cost beneficial construction method in the analyzed cases in this study.

KEYWORD

저소득층
에너지빈곤층
에너지 저감
비용편익

Low-Income households
Energy poverty
Energy saving
Cost benefit

ACCEPTANCE INFO

Received May 31, 2016
Final revision received Aug 17, 2016
Accepted Aug 22, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

온난화에 대처하기 위해 온실가스(GHG, Green House Gas) 배출 감축 노력이 전세계적으로 전개되고 있다. 우리나라도 2030년까지 온실가스 배출전망치(BAU, Business As Usual) 대비 37%를 감축 이행을 약속한 바 있다.¹⁾ IPCC 4차 평가보고서에 따르면 온실가스 배출량은 에너지 공급부문에서 가장 크게 증가하고 있으며, 그 중 75%를 건물부문에 나머지 25%는 교통부문에 사용되고 있다. 따라서 건물부문의 온실가스 감축은 국가적인 온실가스 배출 저감 의무 이행을 위해 매우 중요한 이슈가 되고 있다.²⁾ 건물분야의 온실

가스 배출 저감은 제로에너지 건축물을 신축하는 방법이 있고, 기존 노후건물의 에너지효율을 향상시키는 방법이 있다. 따라서 신축건물에 비해 상대적으로 노후건물에 거주하는 비율이 높은 저소득층 가구의 에너지효율개선사업도 온실가스 절감방안이 될 것으로 보인다.

저소득층이란 기초생활수급권자와 차상위계층으로 나뉘어지며, 최저생계비의 120% 이하인 가구이다. 저소득층 가구의 소득분위별 연료비 지출을 살펴보면, 전체 가구의 연료비 지출은 연평균 3.3% 증가하였으나 최저 소득층에 해당하는 소득1분위 가구는 2008년에서 2012년 동안 연평균 4.5%로 상대적으로 높은 증가 추이를 보였다.³⁾

현재 국내에서는 영국의 주택난방 및 에너지절약법(Warm Homes and Conservation Act)에서 정의하고 있는 것과 같이 적정수준의 난방(일반적으로 거실 21℃, 그 외 사용하는 방 18℃)을 위한 에너지비용이 전체 소득의 10%를 초과하는

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2016.16.5.039

- 1) 백천현 외 2인, "상향식 접근법에 의한 국내 시설재배 에너지부문의 온실가스 배출량 및 감축 잠재량 분석", 한국에너지학회, Vol.24, No.4, 2015.11 // (Paik, Chunhyun others 2, "Greenhouse gas emission and abatement potential analysis for the Korea horticulture energy sector using bottom-up approach", Journal of energy engineering, Vol.24, No.4, 2015.11)
- 2) 김동규 외 4인, "에너지총조사 보고서를 활용한 건물 부문별 온실가스 배출량 산정 및 분석", 에너지기후변화학회, Vol.8, No.1, 2013.04 // (Kim, Dongkyu others 4, "Calculation and analysis of GHG emission from building by analysis of energy consumption survey", Journal of energy & climate change, Vol.8,

No.1, 2013.04)

- 3) 정창현 외 2인, "노후공동주택 개보수를 통한 난방부하 저감가능성 분석", 대한건축학회, 대한건축학회 논문집-계획계, Vol.26, No.7, 2010.07 // (Cheong, Chang-Heon others 2, "Heating load reduction by energy retrofit in an old residential building", Journal of the architectural institute of Korea planning & design Vol.26, No.7, 2010.07)

가구를 에너지 빈곤층으로 정의하고 있다.⁴⁾ 한국보건사회연구원원의 발표자료에 의하면 2013년 기준으로 국내 전체 1,640만 가구 중 약 160만 가구가 에너지빈곤층에 해당한다고 발표하였다.⁵⁾ 이에 국내에서도 에너지빈곤층을 감소하기 위하여 2006년 에너지기본법이 제정되었으며, 에너지기본법 제4조 제5항에서 국가, 지방자치단체 및 에너지공급자는 빈곤층 등 모든 국민에 대한 에너지의 보편적 공급에 기여하여야 한다고 규정하고 있다.⁶⁾

에너지 빈곤층의 에너지복지 사업의 일환으로 2007년부터 한국에너지재단이 정부로부터 사업비를 위탁받아 ‘저소득층 에너지 효율 개선사업’을 진행하고 있다.⁷⁾ 이 사업은 기초생활수급권자와 기초생활보장의 사각지대에 있는 빈곤층인 차상위 계층주거에 대해 단열공사, 난방기기, 고효율기기 등을 지원하여 저소득층 가구 거주자의 삶의 질을 향상시키고 노후된 주택의 단열 성능을 개선하여 에너지 효율을 높이는 것을 목적으로 하고 있다.⁸⁾

한국에너지재단의 발표자료에 의하면 2007년부터 2013년까지 저소득층 에너지 효율 개선사업의 지원을 받은 가구 수는 약 28만 가구이다.⁹⁾ 지원내용은 단열, 창호 등 난방효율을 제고하기 위해 주택을 개보수 하는 시공지원과 에너지 구입비용 절감을 위해 난방물품 및 가전제품을 보급하는 물품 지원으로 구분된다. 연간 지원 건수를 분석하면 Fig. 1과 같다.

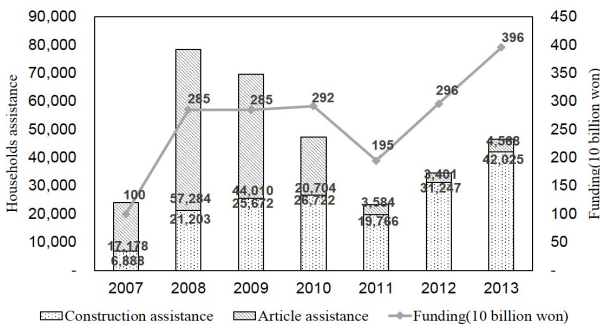


Fig. 1. Assistance type of Low-income energy efficiency improvement program

4) 김정국 외 4인, “국내-외 저소득층을 위한 에너지복지 프로그램 비교 연구”, 대한설비공학회 2015 하계학술발표대회 논문집, 2015. 06 // (Kim, Jeong-Gook others 4, “The Comparative study of the energy welfare program for the low-income bracket in domestic and foreign”, SAREK 2015 Convention, 2015)

5) 김현경, “에너지 빈곤의 실태와 정책적 함의”, 한국보건사회연구원, 2015. 05 // (Kim, Hyunkyung, “Actual situation and policy implications of energy poverty”, KIHASA, 2015. 05)

6) 김현경, “에너지 빈곤의 실태와 정책적 함의”, 한국보건사회연구원, 2015. 05 // (Kim, Hyunkyung, “Actual situation and policy implications of energy poverty”, KIHASA, 2015. 05)

7) Kim, Junghwa others 4, “Floor plan analysis of detached houses for the low-income households”, Korea institute of ecological architecture and environment, Vol.14, No.3, 2014

8) 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)

9) 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)

사업 초기에는 지원 즉시 효과를 볼 수 있는 물품지원이 70% 이상이었으나 최근에는 국가의 장기적인 에너지 절약 계획 정책에 따라 시공지원이 90% 이상 차지하고 있다.

본 연구에서는 향후 저소득층 지원사업의 의사결정에 적용하기 위하여 기존의 저소득층 에너지 효율개선 사업을 통해 시공 지원된 가구의 사례분석을 통하여 시공지원 사업의 내용을 정의하고, 에너지 시뮬레이션 및 경제성 분석을 통해 각 시공지원 방안별 난방에너지 절감효과와 비용회수 효과를 분석하였다.

2. 분석방법

2.1. 저소득층 가구의 주거형태 조사

가정부문의 1인당 에너지 소비는 날씨의 변화 등에 따라 다소의 등락은 있지만 지속적으로 증가하는 추세이다. 하지만 가구당 에너지소비는 증가추세를 보이지 않는데 이는 가구당 가구원수의 감소 등 보다 많은 요인이 작용하기 때문이다.

2014년 에너지 총 조사의 소득계층별 가구 월간 소득별 연평균 에너지 소비는 Fig. 2와 같다.¹⁰⁾

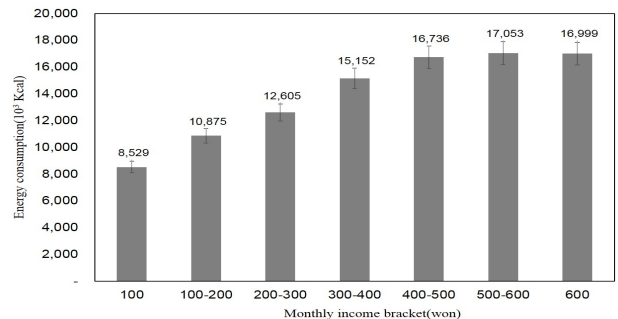


Fig. 2. Energy consumption in accordance with the monthly income level

월평균 소득이 100 만 원 이하 가구의 연간 에너지 소비량은 8,529천kcal이고, 소득이 100~200 만 원인 가구의 연간 에너지 소비량은 10,875천kcal로 100 만 원 미만인 가구에 비하여 27.5% 정도 많은 에너지를 소비하는 것으로 나타나고 있다. 200 만 원 이상인 가구 역시 소득이 증가함에 따라 에너지 소비가 증가함을 알 수 있다.

하지만 소득수준이 높아짐에 따라 에너지 소비도 많아지거나 소득의 차이에 비하여 에너지 소비의 차이는 상대적으로 크게 낮다는 점이다. 에너지 소비량 추이를 보면 소득수준이 높아질수록 에너지 소비량의 차이가 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 소득수준과 관계없이 일정 수준의 에

10) 에너지경제연구원, 2014년도 에너지 총 조사 보고서, 산업통상자원부, 2014 // (Korea energy economics institute, 2014 energy consumption survey, MOTIE, 2014)

너지가 필요하며 또한 소비됨을 나타내는 것이다.

본 논문에서는 저소득층 가구의 에너지 소비량 차이의 원인을 확인하기 위하여 기 지원된 저소득가구의 건물 구조별 창과 지붕 재료 종류를 조사하여 저소득가구의 주거형태를 분석하였다.¹¹⁾ 대상 가구는 저소득층 가구 중 거주 비율이 약 40%로 가장 높은 단독주택을 대상으로 실시하였다. 분석결과는 Table 1과 같다.

Table 1. Low-income households living type (detached house)

Structure	Rank	Window type	Rank	Roof type
Block (29%)	1	Wood 52%	1	Slate 43%
	2	AL 34%	2	Con'c 22%
	3	PVC 12%	3	Tile 14%
Concrete (25%)	1	Wood 36%	1	Con'c 82%
	2	PVC 34%	2	Slate 7%
	3	AL 30%	3	Tile 5%
Brick (24%)	1	Wood 52%	1	Con'c 46%
	2	AL 33%	2	Slate 24%
	3	PVC 14%	3	Tile 16%
Mud wall (10%)	1	Wood 63%	1	Slate 44%
	2	AL 21%	2	Etc. 24%
	3	PVC 13%	3	Tile 23%
Panel (4%)	1	PVC 64%	1	Panel 72%
	2	AL 22%	2	Slate 13%

*Con'c : Concrete, AL : Aluminum

저소득층 가구의 구조형태 분석결과, 블록조, 콘크리트조, 조적조의 구조형태가 약 80% 차지하였으며, 흙벽 구조 및 샌드위치 판넬 구조의 형태도 확인하였다. 저소득층이 거주하는 단독주택의 경우 준공된지 20년 이상된 노후주택의 비율이 높기 때문에 블록조, 벽돌조의 형태가 많은 것으로 확인되었다. 창호의 종류 확인결과, 목재 프레임의 단창이 가장 많은 것으로 나타났다. AL과 PVC는 구조에 따라 사용빈도의 차이가 있지만 목재 프레임 창호는 전체 사용량의 50% 이상 차지하는 것으로 나타났다. 지붕 재료 종류 분석결과, 슬레이트와 콘크리트의 비중이 가장 높은 것으로 나타났다.

2.2. 저소득층 단독주택 표준모델(Baseline Model) 작성

저소득층 표준모델은 김정화의 논문에서 선정한 저소득층 단독주택 표준모델로 선정하였다.¹²⁾ 표준모델은 2013년 저소득층 에너지 효율 개선사업에 선정되어 시공지원을 받은 3,061가구 중 단독주택에 해당하는 2,571가구를 대상으로 평면 특성을 분석하여 저소득층 가구의 평면 형태를 반영하였다 (Fig. 3).¹³⁾

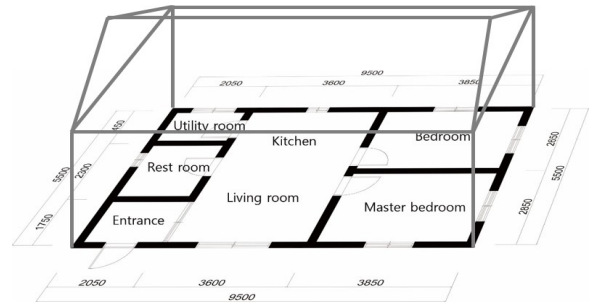


Fig. 3. Low-income detached house standard model

저소득층 단독주택 표준모델의 면적 규모는 44.52m²의 장방형 평면을 표준모델로 제안하였으며 창면적비는 동쪽 10.8%, 서쪽 2.5%, 남쪽 24.8%, 북쪽 18.6%이며, 평균 천장고는 2.3m이다. 또한 저소득층 단독주택 표준모델의 평면은 표준설계치수를 기준으로 가족구성에 따른 소요공간 계획과 최소 주거공간 확보의 관점에서 방 2개, 주방, 거실, 욕실이 계획되었다.

따라서 본 논문에서는 저소득층 에너지 효율개선사업의 효과를 정량적으로 분석하기 위해서 본 표준모델을 사용하였다.

2.3. 시공지원 부위 선정 방법

저소득층 단독주택 표준모델을 바탕으로 시공지원 부위를 선정하기 위하여 2009년부터 2013년까지의 지원 가구 중 단독주택이며 시공 지원한 가구 중 약 84,000건을 분석하여 가장 많은 지원을 받은 부위를 선정한 후 지원 사업에 따른 효율을 산출하였다. 데이터 분석결과 Fig. 4와 같이 창호 공사가 지원이 가장 많았고, 벽체 단열공사 지원이 약 32%로 두 번째로 많았다.

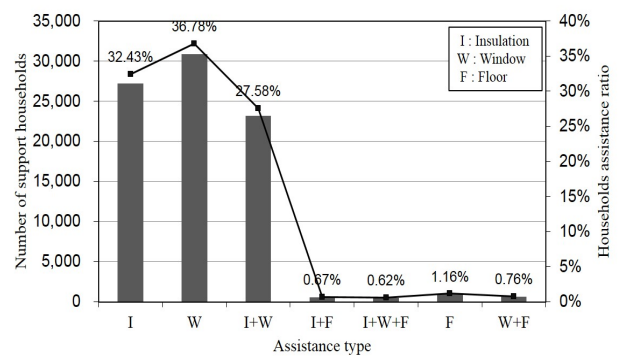


Fig. 4. Low-income energy efficiency improvement program construction assistance type analysis

저소득층 에너지효율개선사업은 지원 금액이 가구당 120만 원으로 한정되어 있다. 따라서 정해진 금액 안에서 가장 효과가 좋고 시공성이 확보된 공사방법을 선택하여야 하기 때문에 상대적으로 노후화된 목재 단창의 창호를 PVC 복층창

11) 한국에너지재단, 저소득층 에너지효율개선 사업 기지원가구 분석 내부자료, 2015
 12) 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)
 13) 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)

으로 변경하는 시공지원의 유형이 가장 많다. 또한 벽체 단열 공사도 단열성능 확보가 용이하기 때문에 상대적으로 많은 비중을 차지하고 있다. 하지만 벽체+바닥, 벽체+창호+바닥 등의 복합 시공지원은 비용의 한계성으로 인하여 비중이 작다. 따라서 본 연구에서는 그림 3의 결과를 토대로 저소득층 에너지 효율 개선사업의 효율성을 분석하고자 한다.

저소득층 표준주택과 에너지 소요량 산출이 가능한 Design Builder 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 에너지 소요량을 산출하였다. Design Builder는 Calculation Engine으로 Energy Plus를 이용하며 해석대상 건물의 데이터 입출력을 용이하게 할 수 있도록 만들어진 Energy Plus 용 Third-Party User Interface로서 영국에서 개발된 프로그램이다. 건물부하는 크게 실 부하, 시스템 부하, 플랜트 부하로 구분되는데 Design Builder 시뮬레이션에서는 기계시스템 관련 변수를 배제하고 실 부하를 산출하였다. 즉, 건물 부하는 Energy Plus의 'Ideal Loads Airsystem'은 기계 시스템을 정의할 필요가 없으며, 실내에서 필요한 열공급(혹은 열제거)이 이상적인 시스템에 의해 이루어진다고 가정한다.¹⁴⁾

2.4. 경제성 분석 방법

LCC(Life Cycle Cost)란 건축물의 수명주기(Life Cycle) 동안 발생하는 계획, 설계, 시공, 운영 및 폐기처분 등에 소요되는 총 비용을 말한다.

LCC 분석은 건물의 수명기간동안 발생하는 모든 경제적 비용을 포함시키게 되므로 유지관리 및 에너지 저감 비용이 중요한 비중을 차지하게 된다. 각종 요구조건을 만족하면서 가장 낮은 LCC를 갖는 대안의 경우 성능개선 효과가 극대화 되었다고 볼 수 있다. 즉 효율개선사업의 대안 선택에 있어서 단순한 투자효율보다 장기적인 개선효과를 갖는 대안 선택이 가능하다. LCC분석을 위해서는 시간의 흐름에 따른 화폐의 가치변화를 고려해야하며, 다수의 대안을 비교하기 위해서는 동일 시점의 가치로 환산하는 것이 필수적이다.¹⁵⁾

본 논문에서는 저소득층 에너지 효율 개선사업의 경제성 분석을 실시하기 위하여 생애주기비용 분석 방법을 실시하였다. 생애주기비용 분석은 여러 가지 다른 프로젝트 대안에 대한 상호 비교분석을 위해 현재가치화법과 연등가액법이 활용되며, 본 연구에서는 생애주기비용분석을 위해 현재가치화법을 적용하였다. 현재가치화법은 현시점으로부터 미래의 비용 발생 시점까지의 기간과 할인율을 기초로 하여 현재가치환산 계수(Present Worth Factor : PWF)를 곱하여 미래시점의 비용을 현재시점 가치의 비용으로 환산하는 방법이다. 현재가치화법 산정식은 식-1 과 같다.¹⁶⁾

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \tag{1}$$

여기서 PWF는 현재가치환산계수, *i*는 할인율, *n*는 현시점으로부터 미래의 비용 발생 시점까지의 기간(년)을 뜻한다. 저소득층 단독주택 표준모델의 생애주기비용 분석을 위한 가정 사항으로 분석기간과 할인율을 설정한다. 분석기간은 저소득층 가구의 구조형태 중 가장 높은 비율을 보이는 블록조 건물이기에 법인세법에서 제시된 경제적 내구연수를 적용하며, 관련 내용은 Table 2와 같다.¹⁷⁾

Table 2. Set the analysis period

	Period (Lower-Maximum)	Structure
1	5 year (4-6 year)	Vehicles and transportation equipment
2	12 year (9-15 year)	Ship and aircraft
3	20 year (15-25 year)	Block, Con'c, Mud, Brick
4	40 year (30-50 year)	Steel reinforced concrete, Reinforced concrete

할인율은 2010년을 기준으로 한국은행의 정기예금 금리와 소비자물가지수 통계자료를 활용하여 분석하였다.¹⁸⁾ 한국은행의 통계 값을 활용하여 분석된 할인율은 약 5.81%이며, 분석기간은 블록조에 해당하는 20년을 분석기간으로 설정하였다. 이를 적용하여 생애주기비용을 분석하였다.

투자금액은 시공지원 유형분석 데이터와 동일한 2009년부터 2013년까지 지원된 84,000건의 공사 지원금액을 분석하고, Design Builder를 이용하여 산출된 에너지 절감량을 이용하여 경제성 분석을 실시하였다.

3. 저소득층 에너지효율개선사업 효과 분석

3.1. 분석 조건

저소득층 에너지효율 개선사업의 효율성을 정량적으로 평가하기 위하여 2.1절에서 전술한대로 저소득층 단독주택 표준모델과 기 지원된 가구의 지원 유형 분석결과를 토대로 분석하였다.

Table 3은 저소득층 에너지 효율개선사업에서 실제로 적용된 가구의 모습이다. 저소득층 가구의 경우 노후화된 벽체

14) 노은아 외 2인, "공동주택 외피의 장면적비에 따른 에너지성능 평가", 한국건축친환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2011. 10 // (Roh, Eun-Ah others 2, "Energy performance evaluation of apartment building according to window-to-wall ratio of envelope", KIAEBS 2011 Convention, 2011)
 15) 이일규 외 3인, "LCC분석을 통한 도시가스 및 지열 냉난방설비의 경제성 평가", 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, "Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis", AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)
 16) 이일규 외 3인, "LCC분석을 통한 도시가스 및 지열 냉난방설비의 경제성 평가", 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, "Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis", AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)

16) 이일규 외 3인, "LCC분석을 통한 도시가스 및 지열 냉난방설비의 경제성 평가", 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, "Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis", AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)
 17) 이일규 외 3인, "LCC분석을 통한 도시가스 및 지열 냉난방설비의 경제성 평가", 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, "Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis", AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)
 18) 이일규 외 3인, "LCC분석을 통한 도시가스 및 지열 냉난방설비의 경제성 평가", 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, "Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis", AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)

및 창호로 인하여 단열성능 및 기밀성능이 낮다.

Table 3. Case selection for case analysis



Table 3은 시공지원을 통하여 단열 및 창호 공사를 실시하여 낮은 단열성능과 기밀성능을 향상시키기 위한 개보수 전·후의 모습이다. 위와 같은 사례를 분석하여 각 구조체별 단열성능을 확인하였고, 저소득층 단독주택 표준모델의 Baseline Model에 적용된 열관류율은 Table 4와 같다. 벽체의 열성능은 인용된 저소득층 단독주택 표준모델의 준공년도에 준한 열관류율을 이용하였고, 창호의 열성능은 현장방문을 통하여 창호의 종류를 확인한 후 열관류율을 선정하였다.

Table 4. Envelope and thermal performance of the standard model to be evaluated

	Part	Material	U-value (W/m ² ·K)
Baseline	Window	Wood frame Single glass	5.30
	Wall	Cement block	2.13

Baseline Model에 적용된 창호는 목재 프레임, 투명 단층 창호이다. 내부 발열 조건은 건물에너지효율등급인증제도 운영규정상에서 제시된 내부발열량 값을 Table 5와 같이 적용하였다.

Table 5. Overview of energy analysis conditions

Division	Contents
Heating setpoint	21 °C
Cooling setpoint	28 °C
Equipment heat generation rate	3.76 W/m ²
Body heat generation rate	1.72 W/m ²
Residential personnel	0.04 person/m ²

저소득층 에너지효율개선사업의 효율성을 확인하기 위하여 Baseline의 난방에너지 소요량과 공사부위를 변경하여 난방에너지 소요량을 비교하였다. 하지만 지원 금액이 한정되어 있기 때문에 전체 부위를 교체할 수 없다. 따라서 기 지원 가구의 시공지원 사례 분석을 통하여 가장 많은 지원이 이루어진 Case를 Table 6과 같이 선정하였다.

어진 Case를 Table 6과 같이 선정하였다.

Table 6. Case selection for case analysis

	Window (Glass-Frame)	U-value (W/m ² ·K)	Wall (Material)	U-value (W/m ² ·K)
Baseline	Single-Wood	5.30	Cement block	2.13
Case 1	Double-PVC	2.30	Cement block	2.13
Case 2	Single-Wood	5.30	Reinforced Insulation	0.63
Case 3	Double-PVC	2.30	Reinforced Insulation	0.63

지원 사례 분석결과, 주 거주 공간인 안방(Master bed room)의 창호 및 벽체의 시공 지원 사례가 가장 많은 것으로 분석되었다. 안방에는 남측면 창호 1개와 동측면 창호 1개가 있고 외부와 직접 접촉을 하는 외피 역시 남측과 동측벽면으로 구성되어 있다. 따라서 창호 지원 공사는 창호 2개를 교체하고, 벽체 지원 공사는 2면의 벽면에 단열재를 추가하는 공사를 실시하였다. 또한 추가 공사비 지원이 가능한 경우에는 벽체와 창호를 모두 교체하는 지원사업을 실시하였다. 따라서 Case 1은 창호교체(2.4m²), Case 2(14.9m²)는 단열재 추가, Case 3(17.4m²)은 창호, 벽체 교체하는 사례를 선정하였다.

저소득층 에너지효율개선사업은 한국에너지재단에서 지정한 창호와 단열재를 사용하여 시공지원을 실시한다. 한국에너지재단에서 지원되는 창호의 종류는 복층창과 사중창을 지원한다. 하지만 사중창은 대상가구의 벽체 두께에 의하여 적용유무가 결정되기 때문에 적용되는 경우가 많지 않으므로 복층창을 선정하였다. 단열재는 비드법 보온판과 압출법 보온판, 열반사 단열재를 사용하고, 현재까지 비드법 보온판의 시공사례가 가장 많은 것으로 나타났다.

3.2. 시공지원에 따른 에너지 절감 효과

위 3.1에서 작성한 시공지원에 따른 난방에너지 소요량을 산출하면 Fig 5와 같다.

Design Builder 프로그램을 이용한 Case 별 단위면적당 난방에너지 소요량 산출을 하여 지원 사례에 따른 정량적인 효과를 분석하였다. 저소득층 단독주택 표준모델(Baseline model), 즉 시공지원 이전의 경우, 연간 난방에너지 소요량이 273 kWh/(m²·a)로 나타났으며, Case 1은 Baseline 대비 3.2% 감소한 264 kWh/(m²·a)로 나타났다. 벽체에 단열재를 추가한 Case 2는 Baseline 대비 9.3% 감소한 248 kWh/(m²·a), 창, 벽체를 모두 지원한 Case 3은 12.5% 감소한 239 kWh/(m²·a)으로 산출되었다. 지원금이 한정되어 가구 전체 중 방 한 칸을 지원한 결과이기 때문에 절감량이 크지 않지만 지원금이 추가되어 가구 전체의 단열성능을 개선하게 되면 절감량이 크게 증가할 것으로 예상된다.

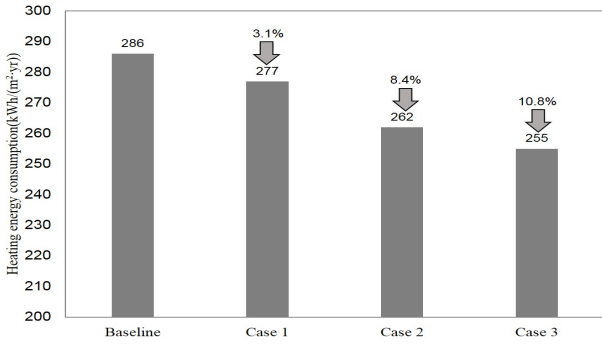


Fig. 5. Analysis of assistance by type of heating energy consumption

3.3. 시공지원의 경제성 분석

3.2의 난방에너지 소요량 분석결과를 토대로 시공지원의 경제성 평가를 위한 LCC 분석을 실시하였다. 공사비용은 2014년 저소득층 에너지효율 개선사업에 사용된 물량산출서를 기준으로 재료비와 노무비의 합계로 산출하였다. Table 7은 복층창 교체공사와 벽체 단열재 보강 공사의 재료비와 노무비를 산출한 내역이다.

Table 7. Wall and windows construction costs of assistance program

Division		Material cost	Labor cost	Unit
Wall	Insulation	17,400	4,620	m ²
	Wallpaper(roof)	1,430	3,465	m ²
	Wallpaper(wall)	1,430	3,465	m ²
	Baseboard	2,640	2,500	m ²
	Subsidiary materials	27,500	0	m ²
	Cleaning	0	2,888	m ²
Window	Double-windows	266,482	70,277	face

공사비 산출내역 확인결과 Case 1은 822,660원, Case 2는 1,006,170원, Case 3은 1,828,830원이 투자 된다. 산출된 투자비용을 토대로 경제성 분석을 실시하였다. 단, 정부에서 저소득층에게 지원하는 정액할인은 고려하지 않았다. 3.2절에서 분석한 Case 별 연간 단위면적당 난방에너지 소요량을 이용하여 가구별 전기에너지 사용료를 환산하였다.¹⁹⁾ 전기 사용료는 한국전력에서 2013년 고시한 주택용 전력 사용료를 이용하였다.²⁰⁾ 저소득층 가구의 평균 전기에너지 사용량 분석결과 255kWh/월 사용하므로 187.9kWh/원의 요금을 적용하여 분석하였다.²¹⁾ 각 케이스별 경제성 분석결과는 Table 8, 9, 10과 같다.

19) 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)

20) 한국전력, 2013년 11월21일 시행 전기요금(종합), 2013.11

21) 김승래 외 2인, “전기요금체계 개편의 소득재분배 효과: 주택용을 중심으로”, 한국경제연구학회, 한국경제연구 Vol.33, No.1, 2015.03 // (Kim, Seung-Rae others 2, “The redistributive effects of alternative electricity pricing policies in Korea”, AKED, Vol.33, No.1, 2015.03)

Table 8. LCC analysis results of case 1 assistance program

Durability life (year)	Annual revenue (won)	Accumulated revenue (won)
1	168,110	-654,550
2	165,075	-489,475
3	162,095	-327,380
4	159,169	-168,211
5	156,296	-11,915
6	153,475	141,560
15	130,268	1,403,979
20	118,927	2,020,882

Table 9. LCC analysis results of case 2 assistance program

Durability life (year)	Annual revenue (won)	Accumulated revenue (won)
1	467,765	-538,405
2	459,321	-79,084
3	451,030	371,946
5	434,894	1,249,728
10	397,034	3,309,237
15	362,469	5,189,454
20	330,914	6,905,987

Table 10. LCC analysis results of case 3 assistance program

Durability life (year)	Annual revenue (won)	Accumulated revenue (won)
1	635,875	-1,192,955
2	624,396	-568,559
3	613,125	44,566
4	602,058	646,624
5	591,190	1,237,814
10	539,723	4,037,488
15	492,737	6,593,433
20	449,841	8,926,869

Case 1의 경우, 연간 171,200원의 비용을 절감할 수 있으며 투자회수기간은 6년으로 분석되었다. 단열재 보강을 하였을 경우(Case 2), 연간 476,364원의 비용을 절감할 수 있으며 투자회수기간은 3년이고, 벽체와 창호를 모두 교체하였을 경우(Case 3), 연간 647,564원을 절감할 수 있으며 투자회수기간은 3년으로 분석되었다.

경제성 분석결과, 벽체와 창호를 모두 교체한 Case 3이 가장 효율적인 방법으로 분석되었다. 벽체 지원은 창호 지원에 비하여 상대적으로 시공비가 저렴하기 때문에 적은 비용으로 효율적인 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 시공지원 사례 중에서 공사 소요시간이 짧은 창호 지원 사례가 많은 것으로 분석되었다. 따라서 향후 저소득층 에너지효율개선사업은 에너지 절감효과나 경제성이 우수한 벽체의 단열성능 확보를 위한 시공지원을 우선해야 할 것으로 판단된다. 아울러, 현장에서 벽체 단열재 추가 공사를 단 기간에 실시할 수 있는 시공법 개발이 필요할 것으로 판단된다.

본 경제성 분석에 사용된 에너지 저감 효과는 에너지 시뮬레이션 결과를 토대로 한 것으로 실제 난방에너지 소요량과 차이가 발생할 수 있으며, 결과적으로 경제성에서도 다소 차

이가 발생할 수 있을 것이다. 향후 지속적인 연구를 통하여 저소득층 가구의 개보수 전후의 실제 난방에너지 사용량 데이터를 확보하여 이에 대한 보완 연구를 실시할 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 저소득층 에너지효율 개선사업의 효과를 난방에너지 절감효과, 그에 따른 경제적 측면에서 분석하였다. 분석을 통해 각 시공방안의 에너지 저감 및 투자비용 회수 특성을 분석하여 효율적인 시공방안을 확인하였다.

1. 저소득층 가구 주거형태 분석결과, 노후주택의 특징과 유사한 주거형태로 분석되었다. 구조형태는 블록조(29%), 콘크리트조(25%), 조적조(24%)로 많았고 창호형태는 목재 창호(50%)의 비율이 가장 많았다. 지붕형태는 슬레이트와 콘크리트 비중이 가장 많은 것으로 분석되었다.

2. 지원사례 분석결과, 국가의 에너지절약 정책에 영향을 받아 사업 초기에는 물품지원이 70% 이상이었지만 최근에는 시공지원 비율이 90% 이상 증가하였다.

3. 시공지원 유형분석결과, 비교적 공사기간이 짧은 창호 지원이 37%로 가장 많고, 벽체 32%, 창호+벽체 지원 28%로 나타났다.

4. 에너지 절감 효과 분석결과 표준모델의 난방에너지 소요량이 273kWh/(m²·a)이며, 창호지원결과 264kWh/(m²·a), 단열재 지원결과 248kWh/(m²·a), 창호+단열재 지원결과 239kWh/(m²·a)로 분석되었다.

5. LCC 분석결과, 창호지원 사업은 비용 회수기간이 6년이었으며, 벽체지원 사업은 3년, 창호+벽체지원 사업은 3년으로 나타났다. 가장 비용 회수 효과가 우수한 시공방안은 창호+벽체 지원사업으로 나타났다.

본 연구를 통해 사회적 약자로 구성되어 있는 저소득층에게 보다 효과적인 지원방안을 제시하였다. 하지만, 본 지원사업을 제외하고 국내에는 다양한 지원사업이 존재한다. 이러한 지원사업 역시 보다 효율적인 지원이 이루어지도록 지속적인 연구가 필요하며, 적극적인 홍보를 통해 보다 많은 대상자가 지원을 받을 수 있어야 할 것으로 보인다.

향후 실제 난방에너지 사용량 데이터를 확보하여 실제 에너지 저감량을 분석하여, 보다 신뢰성 높은 연구를 진행하도록 하겠다.

Acknowledgements

This work was conducted under framework of the research and development program of the Korea Institute of Energy Research(B5-2483).

Reference

[1] 백천현 외 2인, “상향식 접근법에 의한 국내 시설택배 에너지부분의 온실가스 배출량 및 감축 잠재량 분석”, 한국에너지학회, Vol.24, No.4, 2015.11 // (Paik, Chunhyun others 2, “Greenhouse gas

emission and abatement potential analysis for the Korea horticulture energy sector using bottom-up approach”, Journal of energy engineering, Vol.24, No.4, 2015.11)

[2] 김동규 외 4인, “에너지중조사 보고서를 활용한 건물 부문별 온실가스 배출량 산정 및 분석”, 에너지기후변화학회, Vol.8, No.1, 2013.04 // (Kim, Dongkyu others 4, “Calculation and analysis of GHG emission from building by analysis of energy consumption survey”, Journal of energy & climate change. Vol.8, No.1, 2013.04)

[3] 정창현 외 2인, “노후공동주택 개보수를 통한 난방부하 저감가능성 분석”, 대한건축학회, 대한건축학회 논문집-계획계, Vol.26, No.7, 2010.07 // (Cheong, Chang-Heon others 2, “Heating load reduction by energy retrofit in an old residential building”, Journal of the architectural institute of Korea planning & design Vol.26, No.7, 2010.07)

[4] 김정국 외 4인, “국내-외 저소득층을 위한 에너지복지 프로그램 비교 연구”, 대한설비공학회 2015 하계학술발표대회 논문집, 2015. 06 // (Kim, Jeong-Gook others 4, “The Comparative study of the energy welfare program for the low-income bracket in domestic and foreign”, SAREK 2015 Convention, 2015)

[5] 김현경, “에너지 빈곤의 실태와 정책적 함의”, 한국보건사회연구원, 2015. 05 // (Kim, Hyunkyong, “Actual situation and policy implications of energy poverty”, KIHASA, 2015. 05)

[6] Kim, Junghwa others 4, “Floor plan analysis of detached houses for the low-income households”, Korea institute of ecological architecture and environment, Vol.14, No.3, 2014

[7] 김정화, “저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선모델 개발 연구”, 과학기술연합대학원대학교 2015 석사졸업논문, 2015.02 // (Kim, Junghwa, “Heating Energy baseline and saving model development of detached houses for low-income households”, UST, 2015.02)

[8] 에너지경제연구원, 2014년도 에너지 총 조사 보고서, 산업통상자원부, 2014 // (Korea energy economics institute, 2014 energy consumption survey, MOTIE, 2014)

[9] 한국에너지재단, 저소득층 에너지효율개선 사업 기지원가구 분석 내부자료, 2015

[10] 노은아 외 2인, “공동주택 외피의 창면적비에 따른 에너지성능 평가”, 한국건축환경설비학회 학술발표대회 논문집, 2011. 10 // (Roh, Eun-Ah others 2, “Energy performance evaluation of apartment building according to window-to-wall ratio of envelope”, KIAEBS 2011 Convention, 2011)

[11] 이일규 외 3인, “LCC분석을 통한 도시가스과 지열 냉난방설비의 경제성 평가”, 대한건축학회-구조계 Vol.27, No.10, 2011.10 // (Lee, Il-Gyu others 3, “Economic evaluation for heating and cooling system by using gas energy and geothermal energy based on LCC analysis”, AIK, Vol.27, No.10, 2011.10)

[12] 한국전력, 2013년 11월21일 시행 전기요금(종합), 2013.11

[13] 김승래 외 2인, “전기요금체계 개편의 소득재분배 효과: 주택용을 중심으로”, 한국경제연구학회, 한국경제연구 Vol.33, No.1, 2015.03 // (Kim, Seung-Rae others 2, “The redistributive effects of alternative electricity pricing policies in Korea”, AKED, Vol.33, No.1, 2015.03)