에너지, 환경 및 경제성을 통합 고려한 공동주택 설계요소 제어에 관한 연구

A Study on the Control of Apartment House Design Factors considering Energy, Environment and Economical Efficiency

최 두 성* 도 진 석**
Choi, Doo-Sung Do, Jin-Seok

Abstract

The current building energy efficiency rating certification regulation on apartment houses evaluates only the saving rate of energy consumed during operation, i.e. use, of a building, but doesn't consider the energy consumptions and environmental load(CO_2) emissions occurring during the whole lifetime of a building. So this study calculated the energy consumptions and environmental load emissions occurring during the whole lifetime of a building, selected reference schemes and alternative items by design variables to present a design draft considering energy efficiency and environmental performance, and evaluated the total cost by combining and calculating its direct cost(material and heating cost) and indirect cost(environmental cost), for an existing apartment house as an evaluation object. As a result of analysis, the change of heating cost by alternative items of design variables showed a 4~8% change rate compared to the reference scheme, and the material cost of design variable 7 showed a maximum 4.4 times change rate in the alternative plan 6 compared to the reference scheme. The environmental cost showed a similar change rate to the material cost change rate in general, but showed a similar environmental cost change rate to the heating cost change rate in case of design variables 4-1, 4-2, 7

키워드 : 공동주택, 건축물 에너지효율등급, 환경부하(CO_2), 환경비용, 총비용
Keywords : Apartment Complex, Building Energy Efficiency Rating System, Environmental Load(CO_2), Environmental Cost, Total Cost

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 인류의 생존과 직접적으로 연계되어 나타나고 있는 자원(에너지)고갈 및 지구온난화와 등의 문제에 대처하기 위한 방안으로 전 산업체계 특히, 에너지다소비산업을 중심으로 산업의 체질변화, 즉 친환경 산업체계로의 전환 필요성이 강조되고 있으며, 이는 더 이상 필요성에 의한 선택이 아닌 국가정책의 시행에 따른 의무사항으로 전개되고 있다.

대표적인 에너지다소비산업분야로 분류되는 국내 건축분야에서는 에너지소비량 감축을 통한 친환경산업체계로의 전환을 목표로 다양한 정책들이 시행되고 있으며, 대표적으로 2001년 건물의 에너지소비 감소를 유도하기위한 목적으로 건축물 에너지효율등급 인증에 관한 규정을 산업자원부에서 고시하여 건축물의 에너지소비량 절감을 유도하고 있다. 그러나 현재 건축물 에너지효율등급의 등급 기준은 건물 사용단계에서의 표준공동주택과 대비한 에너지절감율만을 고려하고 있는 상황으로, 건물의 전과정에서 발생하는 에너지소비량 및 환경부하발생량과 함께 경제성에 대한 통합적인 분석결과를 에너지효율등급 인증 평가에는 반영하지 못하고 있다.

건축물에서의 에너지소비량 및 환경부하발생량은 자재를 생산하는 단계에서부터 이를 운반하는 수송단계, 건물의 유지(교체, 수선, 운영)를 위한 사용단계, 끝으로 수명이 다한 건물의 해체 및 폐기 단계에 이르기까지 긴 생애주기에 걸쳐 나타나며, 동시에 각 생애단계가 동일한 자재의 연속적인 흐름으로 연결되어 있음에도 불구하고 생애단계별 서로 다른 에너지소비 및 환경부하량발생 가령, 사용단계에서의 에너지절감을 도모할 수 있는 설계안(자재)이 자재 생산단계에서는 오히려 높은 에너지소비와 환경부하발생량을 나타낼 수 있는 특징을 가진다.

이에 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 건축물 에너지효율등급제도의 평가방법 및 기준을 이용하여, 에너지사

* 주저자, 청운대학교 건축소방설비학과 조교수, 공학박사
** 교신저자, 여주대학교 건축과 부교수, 공학박사
이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011-0026278)

용과 직접적으로 관련된 주요 설계변수(건축공사자재)들을 선정하고, 이에 대한 건축물 전생애에 걸쳐 에너지소비량과 환경부하(CO_2)발생량 그리고 비용을 분석함으로써 건축물의 에너지효율 측면뿐만 아니라 환경 및 경제성을 통합·고려할 수 있는 설계방안의 제시를 목표로 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 공동주택의 주요 설계변수에 따라 변화하는 에너지소비량 및 환경부하발생량을 각각 산출하며, 이밖에 자재, 에너지소비와 관계된 직접비용(direct cost)과 환경부하발생량을 간접비용(indirect cost)으로 변환한 후 최종 비용의 통합관점에서 설계변수별 에너지, 환경 그리고 경제성을 통합·평가하였다. 또한 설계변수별 건축물 에너지효율등급에 미치는 영향을 분석하였으며, 이에 대한 세부 연구방법은 다음과 같다.

(1) 건축물 전생애를 정의하는 시스템영역을 선정하고, 건축물 에너지효율등급 인증제도의 평가방법에 대한 분석을 통해 에너지소비(난방)와 직접 관련하는 설계변수를 선정하였다.

(2) 분석을 위한 기준건물의 선정 및 이에 대한 설계안을 고찰하고, 기준건물의 설계안을 기준안으로 하여 주요 설계변수별 대안을 선정하고 각 안에 대한 건축물의 에너지효율등급 변화를 분석하였다.

(3) 각 설계변수 대안항목별 공동주택의 아파트 건축공종 부문에서 소비되는 에너지소비량 및 CO_2 발생량을 산업연관분석법을 통해 산출하였다.

(4) 대안항목별 직접비용(자재 및 난방비용)과 간접비용(환경비용)을 산출하여, 최종 이들을 비용으로 통합한 총비용(total cost)의 측면에서, 설계변수 및 대안항목별 에너지, 환경, 경제성을 통합·평가하는 설계방안을 제시한다.

2. 분석범위 및 항목 설정

2.1 분석범위

1) 전생애 시스템영역(system boundary)

본 연구에서는 건축물 전생애를 통해 에너지소비 및 환경부하발생량의 절대적인 비율을 나타내는[1] 자재생산 및 사용단계를 중심으로 전생애 시스템영역을 그림 1과 같이 재 정의하며, 본 시스템영역에서의 투입(자재, 에너지, 비용) 및 산출물(CO_2)에 대한 정량적인 분석을 수행한다.

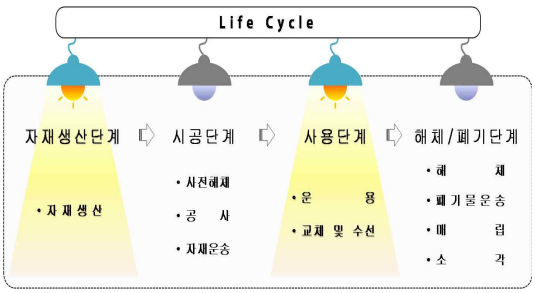


그림 1. 시스템영역 선정결과

1) 조균형 외 3인, 건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구, 한국연구재단, 2001

2) 분석항목

그림 1에서 정의된 각 시스템영역별로 투입되는 에너지원은 다음 <표 1>에서 제시하는 바와 같이 총 9개이며, 이에 따른 산출물은 대표 온실가스물질인 CO_2로 한다.

표 1. 시스템영역별 에너지원의 선정

구분	원단위 (E-f.u)	자재생산단계	사용단계	
			사용단계	교체 및 수선단계
무연탄	kg	●	-	●
유연탄	kg	●	-	●
천연가스	m^3	●	●	●
휘발유	ℓ	●	-	●
제트유	ℓ	●	-	●
등유	ℓ	●	-	●
경유	ℓ	●	-	●
중유	ℓ	●	-	●
액화석유가스	kg	●	-	●

비용요소는 자재구입 및 난방에너지비용(직접비용)과 환경 및 에너지성능의 통합·평가를 목표로 환경부하발생량에 따라 사회적으로 간접 지출되는 비용의 개념인 환경비용(간접비용)으로 변환하여 산출한다. 단, 모든 비용요소는 본 연구에서 정의하는 건물 수명주기 내에서 불변비용으로 간주하여 평가한다.

2.2 분석방법

앞서 그림 1에서 정의된 시스템영역 별 세부 분석방법은 다음과 같다.

1) 자재생산단계

설계변수 대안항목별 투입자재의 생산에 따른 에너지소비량(embodied energy)은 산업연관분석법(경쟁형 생산유발계수)[2]을 통해 산출하며, 환경부하량은 분석된 각 에너지원별 발생량에 CO_2발생원단위(IPCC, 탄소배출계수[3])를 적용하여 산출한다. 또한 대안별 투입자재의 비용(직접)은 한국물가정보[4]와 한국건설적산연구소 일위대가표[5]를 기준하였다.

표 2. 에너지원별 CO_2 발생원단위

구분	원단위 (E-f.u)	CO_2발생원단위 (g-CO_2/E-f.u)
무연탄	kg	1.81E+03
유연탄	kg	2.56E+03
천연가스	m^3	2.45E+03
휘발유	ℓ	2.38E+03
제트유	ℓ	2.57E+03
등유	ℓ	2.59E+03
경유	ℓ	2.82E+03
중유	ℓ	3.17E+03
액화석유가스	kg	3.15E+03

2) 한국은행 산업연관표, 2008
3) IPCC, Global Warming Potential (GWP100), 1996
4) 한국물가정보, 종합적산정보, 2012, www.kpi.or.kr
5) 한국건설적산연구소, 표준일위대가표, 2012

2) 사용단계

사용단계는 운용(난방에너지)및 교체·수선과 같은 하위단계로 구분·산출하였다. 운용단계에서의 난방에너지소비량은 에너지관리공단의 에너지성능평가프로그램[6]을 통해 산출하였으며, 교체 및 수선단계의 에너지소비량 산출은 장기수선계획의 수립기준[7]에서 전면수리 주기 기준, 가장 길게 나타나는 단열재를 기준하여 공동주택의 수명을 최대 50년으로 가정하고 본 수명주기 내 대안 자재별 수선 및 교체주기에 따른 총 자재생산과 관련한 에너지소비량을 산출하였다.

난방에너지소비에 따른 비용(직접)은 기준건물 지역 도시가스요금을 적용하였다.[8] 교체 및 수선에 따른 에너지소비 및 환경부하량 그리고 자재비용 산출은 자재생산단계와 동일한 기준을 적용하였다.

3. 사전분석

3.1 관련연구 분석

본 연구수행(건축물 에너지효율등급 평가)과 관련한 국내의 대표 연구로 송승영 외 1인(2008년)은 에너지절약형 공동주택설계를 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석 및 설계모델 선정에 대한 연구를 진행하였으며, 김한수 외 2인(2009년)은 창호 및 단열재 변수에 따른 공동주택의 건축물 에너지효율등급의 변화를 그리고 장철용 외 2인(2010년)은 공동주택의 부위별 열성능 변화를 통한 건축물 에너지효율등급의 변화를 분석하였다.

이와 같이 국내에서는 건축물 에너지효율등급의 평가방법을 이용한 창호 및 단열재와 같은 제한된 범위 내에서의 주요 자재(구조) 변화에 따른 에너지효율등급 결과의 민감도를 분석하는 연구가 주를 이루고 있으며, 이 외에 일부 연구에서 에너지 및 비용의 효율을 통합·평가하려는 연구시도가 있는 것으로 분석된다.

3.2 건축물 에너지효율등급 인증제도

현재 건축물 에너지효율등급 인증 평가대상은 공동주택 및 업무용 건축물로 구분·평가되며, 대상별 건축물 에너지효율등급제도의 평가 및 운영을 위한 세부 기준과 방법은 국토해양부 및 지식경제부고시[9]에 명시되어 있다.

본 연구에서 분석 대상으로 하는 공동주택에서서의 에너지효율등급 및 에너지절감율 분석 기준은 각각 건축물 에너지효율등급 인증규정 [별표1], [별표2] 에서 명시하고 있으며, 이에 대한 내용을 다음 <표 3> 및 식(1), (2) 에서 나타낸다.

표 3. 공동주택 에너지효율등급 구분

등 급	신축 공동주택 (총 에너지절감율)
1	40% 이상
2	30% 이상 40% 미만
3	20% 이상 30% 미만
4	10% 이상 20% 미만
5	10% 이상 10% 미만

$$\text{총 에너지절감율}(\%) = \frac{\sum(\text{단위공동주택의 에너지절감율} \times \text{단위공동주택의 총전용면적})}{\text{공동주택의 총전용면적}} \quad (1)$$

$$\text{단위공동주택의 에너지절감율}(\%) = \frac{\sum(\text{단위세대의 에너지절감율} \times \text{단위세대의 전용면적})}{\text{단위공동주택의 총전용면적}} + \text{기타(에너지절약효과가 있다고 인정되는 설계기술의 해당절감율)} \quad (2)$$

위 식(2)에서 단위세대 에너지절감율은 표준공동주택대비 난방에너지절감율로 산출되며, 에너지성능지표검토서에 따라 계산되어진다. 여기서, 난방에너지소비량을 구하는 모든 항목을 기본항목으로 하며 기타 에너지절감효과가 있다고 인정되는 설계기술을 가산항목으로 분류한다.

3.3 건축물 에너지효율등급별 비교·분석

설계변수별 대안분석에 앞서 2011년 건축물 에너지효율등급에 관한 규정이 개정되기 이전 인증을 받았던 총 20개 공동주택단지를[10] 대상으로 효율등급별 자재생산단계에서의 에너지소비 및 환경부하발생량을 단순 비교·분석하였으며, 이에 대한 결과를 다음 그림 2에서 나타낸다.

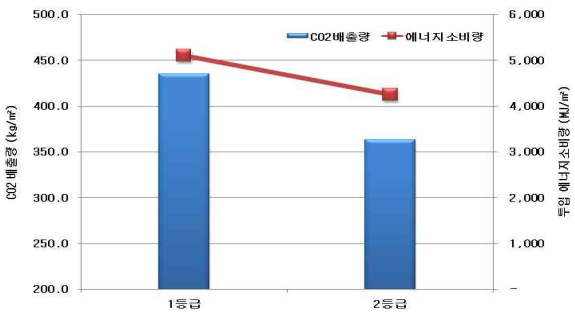


그림 2. 에너지효율등급별 에너지소비 및 환경부하발생량 분석결과

그림 2에서 제시되는 것처럼, 자재생산단계에서의 에너지소비량 및 CO_2 발생량은 각각 에너지효율 1등급의 경우 3개 단지 평균 5,103MJ/㎡, 435.3kg/㎡으로 나타났으며, 2등급의 경우는 17개 단지 평균 4,248MJ/㎡, 363.3kg/㎡로 분석되었다. 이는 사용단계에서의 에너지효율 향상의 결과는 자재생산단계에서의 에너지소비 및 환경부하발생량을 증가(1등급 증가 시 평균 16%)시키는 것으로 분석되었다.

6) 에너지관리공단, 에너지성능평가프로그램, http://www.kemco.or.kr/building
7) 주택법 시행규칙, 국토해양부령 제502호
8) 강원도 천연가스 요금 977원/MJ
9) 건축물 에너지효율등급 인증규정, 국토해양부고시 제2009-1306호:2009.12.31, 지식경제부고시 제2009-329호:2009.12.31
10) 에너지효율 1등급 3개 단지, 2등급 17개 단지 등 총 20개 단지

4. 설계변수 및 대안 선정

4.1 기준건물 선정

본 연구에서는 주택법에서 정하고 있는 국민주택 규모 85㎡이하[11]의 단위세대 그리고 현재 보편적인 시공형태인 계단식 공동주택을 대상으로 기준건물을 선정하고 본 건물에서의 시스템영역 내 에너지소비 및 환경부하발생량 분석을 수행하였다.

위 제시한 조건 하에 선정된 기준 건물은 최근 에너지효율등급을 획득 한 개별난방 방식의 강원도 원주시의 A단지이며, 분석을 위한 단위세대는 현재 입주자들의 선호가 큰 거실확장형으로 전용면적이 84.92㎡인 한 가지 타입으로 정의하였다. 기준건물(공동주택 단지)의 개요를 다음의 표 4에서 나타낸다.

표 4. 평가대상의 건축개요

위 치	강원도 원주시 (중부)
구조형식	철근콘크리트 벽식구조(계단형)
면 적	대지면적(83,399㎡) / 연면적(150,290.12㎡)
난방방식	개별난방(도시가스)
전용면적	총 전용면적 5,434.88㎡
층고	최상층, 최하층 및 기준층 2.8m

4.2 설계변수 선정

건축물 에너지효율등급인증제도 상의 평가항목은 단위세대의 난방에너지소비량 산출을 위한 기본항목과(난방공간과 비난방공간으로 구분되며, 건축부문 34개, 기계 및 전기부문 각 1개 등 총 36개 항목) 추가 에너지절감율 산출을 위한 가산항목으로 구분된다.

본 연구에서는 기준층 단위세대 건축공종(공사)에서의 주요 설계변수 및 대안별 에너지소비 및 환경부하발생량을 정량화하는 것을 목적으로 설계변수 및 대안별 앞서 본 연구에서 분석항목으로 정의 된 에너지, 환경부하, 그리고 비용에 대한 정량적인 비교·산출이 가능한 범위 내에서 평가 가능한 모든 항목을 설계변수로 선정하였다. 단, 부위별 해당하는 높이 및 면적에 대한 항목은 평가대상의 기존 골조체계와 전용면적의 변화가 발생하므로 이를 제외함과 동시에 환기율과 난방공간의 창호를 통한 일사취득율, 차양계수는 동일조건으로 분석하며, 비난방공간의 부위별 열관류율, 높이, 면적도 단위세대의 항목이 아니므로 최종 설계변수의 선정에서 제외하였다. 가산항목의 경우 건축부문은 단위세대에 방풍실을 설치하는 한 가지 항목뿐으로 전용면적의 변화가 발생함으로 항목에서 제외하였다. 그밖에 단위세대 가산항목은 기계설비 및 전기부문 항목으로 본 연구에서 범위로 하는 건축공종(공사)에 포함되지 않으므로 제외하였다.

이상 이와 같은 기준 하에 최종 기본항목 중 건축부문 난방공간에서 최종 5개의 기본항목을 선정하였으며, 이에 대한 결과를 다음 표 5에서 나타낸다.

표 5. 설계변수 선정

설계변수	설계변수 설계안	비고	채택여부
1	난방공간의 외측 창호 열관류율	-	O
-	난방공간의 바닥면적	단위세대 전용면적 84.92㎡만 고려하는 것으로 항목에서 제외	X
-	난방공간의 층고	기존 골조체계를 유지하는 것으로 항목에서 제외	X
-	난방공간의 천장고	〃	X
2	난방공간의 창호 열관류율	-	O
-	난방공간의 창호 면적	벽체면적이 변하므로 항목에서 제외	X
3	난방공간의 외기에 면한 출입문 및 기타 열관류율	-	O
-	난방공간의 외기에 면한 출입문 및 기타 면적	벽체면적이 변하므로 항목에서 제외	X
4	난방공간의 외기에 면하는 벽체 열관류율	-	X
-	난방공간의 외기에 면하는 벽체 면적	창호면적을 고정하면 벽체면적도 고정되므로 항목에서 제외	O
5	난방공간의 최상층(지붕) 열관류율	-	X
-	난방공간의 최상층(지붕) 면적	전용면적을 고정하면 지붕면적도 고정되므로 항목에서 제외	X
6	난방공간의 최하층(바닥) 열관류율	-	X
-	난방공간의 최하층(바닥) 면적	전용면적을 고정하면 바닥면적도 고정되므로 항목에서 제외	X
7	난방공간의 비난방공간에 면한 부위 열관류율	-	O
-	난방공간의 비난방공간에 면한 부위 면적	면적 변화 시 전용면적이 변하므로 항목에서 제외	X

4.3 설계변수별 대안항목 선정

본 연구에서는 선정된 설계변수별로 건축물에너지절약설계기준에서 정하는 열관류율 상한치 내에서 기준건물 설계안의 값을 기준(중간값)하여, 각 설계변수별 6개의 대안항목을 선정하였다. 이와 같은 기준 하에 최종 선정된 설계변수별 대안항목에 대하여 다음의 표 6, 표 7에서 나타낸다.

11) 국민주택, 주거전용면적이 1호(戶) 또는 1세대당 85제곱미터 이하인 주택, 주택법 제2조 3항

표 6. 설계변수별 대안항목 선정 결과

설계변수	단위	열관류율							비고
		최저 ← 대안 성능범위 → 최고							
		대안_1	대안_2	대안_3	기준	대안_4	대안_5	대안_6	
1	W/m²K	2.5	2.2	2.1	1.9	1.8	1.5	1.3	※ 1번 항목: 거실 확장 창호
2-1	W/m²K	2.5	2.2	2.1	1.9	1.8	1.5	1.3	2-1번 항목: 침실 외측에 직접 면하는 창호
2-2	W/m²K	3.7	3.4	3.3	3.1	2.8	2.3	1.9	2-2번 항목: 침실 외측에 간접 면하는 창호
3-1	W/m²K	-	-	-	2.6	1.7	-	-	3-1번 항목: 현관문
3-2	W/m²K	-	-	-	2.4	1.6	-	-	3-2번 항목: 발코니에 면한 문
3-3	W/m²K	-	-	-	2.6	1.7	-	-	3-3번 항목: 대피공간에 면한 문
4-1	W/m²K	0.049	0.043	0.037	0.032	0.029	0.027	0.024	4-1번 항목: 외기에 직접 면하는 벽체의 단열재
4-2	W/m²K	0.049	0.043	0.040	0.036	0.031	0.027	0.024	4-2번 항목: 측벽에 면하는 벽체의 단열재
5	W/m²K	0.049	0.043	0.037	0.032	0.029	0.027	0.024	5번 항목: 최상층 지붕 구조체의 단열재
6	W/m²K	0.049	0.043	0.037	0.032	0.029	0.027	0.024	6번 항목: 최하층 바닥 구조체의 단열재
7	W/m²K	0.049	0.043	0.040	0.037	0.032	0.027	0.024	7번 항목: 외기에 간접 면하는 벽체의 단열재
									※ 기준: 기준건물의 인증당시 기존 설계안의 열관류율

표 7. 설계변수별 대안항목 상세 개요

설계변수	대안항목	개요
1	기준	중공층 6mm, 일반사중창, PVC프레임
	대안_1	중공층 6mm, 일반사중창, 금속프레임
	대안_2	중공층 12mm, 일반사중창, 금속프레임
	대안_3	중공층 6mm, 로이(아르곤)사중창, 금속프레임
	대안_4	중공층 12mm, 일반사중창, PVC프레임
	대안_5	중공층 6mm, 로이(아르곤)사중창, PVC프레임
	대안_6	중공층 12mm, 로이(아르곤)사중창, PVC프레임
2-1	기준	중공층 12mm, 일반(아르곤)복층, 금속프레임
	대안_1	중공층 6mm, 일반복층, 금속프레임
	대안_2	중공층 12mm, 일반복층, 금속프레임
	대안_3	중공층 6mm, 일반복층, PVC프레임
	대안_4	중공층 12mm, 일반복층, PVC프레임
	대안_5	중공층 6mm, 로이(아르곤)복층, PVC프레임
	대안_6	중공층 12mm, 로이(아르곤)복층, PVC프레임
2-2	기준	중공층 12mm, 일반(아르곤)복층, 금속프레임
	대안_1	중공층 6mm, 일반복층, 금속프레임
	대안_2	중공층 12mm, 일반복층, 금속프레임
	대안_3	중공층 6mm, 일반복층, PVC프레임
	대안_4	중공층 12mm, 일반복층, PVC프레임
	대안_5	중공층 6mm, 로이(아르곤)복층, PVC프레임
	대안_6	중공층 12mm, 로이(아르곤)복층, PVC프레임
3-1	기준	철제문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_4	철제문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
3-2	기준	PVC문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_4	PVC문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
3-3	기준	철제문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_4	철제문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
4-1	기준	비드법 보온판 2종2호
	대안_1	유리면 보온판 2호24K
	대안_2	암면 보온판 2호
	대안_3	비드법 보온판 1종2호
	대안_4	압출법 보온판 2호
	대안_5	압출법 보온판 특호
	대안_6	경질우레탄폼 보온판 1종

설계변수	대안항목	개요
3-1	기준	철제문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_1	철제문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
3-2	기준	PVC문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_1	PVC문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
3-3	기준	철제문, 단열두께 20mm미만, 열교차단재
	대안_1	철제문, 단열두께 20mm이상, 열교차단재
4-1	기준	비드법 보온판 2종2호
	대안_1	유리면 보온판 2호24K
	대안_2	암면 보온판 2호
	대안_3	비드법 보온판 1종2호
	대안_4	압출법 보온판 2호
	대안_5	압출법 보온판 특호
	대안_6	경질우레탄폼 보온판 1종
4-2	기준	비드법 보온판 1종1호
	대안_1	유리면 보온판 2호24K
	대안_2	암면 보온판 2호
	대안_3	비드법 보온판 1종3호
	대안_4	비드법 보온판 2종1호
	대안_5	압출법 보온판 특호
	대안_6	경질우레탄폼 보온판 1종
7	기준	비드법 보온판 1종2호
	대안_1	유리면 보온판 2호24K
	대안_2	암면 보온판 2호
	대안_3	비드법 보온판 1종3호
	대안_4	비드법 보온판 2종2호
	대안_5	압출법 보온판 특호
	대안_6	경질우레탄폼 보온판 1종

※ 설계변수 3-1, 3-2, 3-3의 경우 건축물에너지효율등급제도 상에서 인정하는 열관류율은 기준안 및 대안_4 2가지 경우로, 본 연구에서 각 설계변수별 기준안 대비 대안 설계안의 에너지소비량 및 환경부하발생량 비교·분석을 위해 기준안을 제외한 모든 대안에 대안_4를 적용하여 산출한다.

5. 분석결과

앞서 정의된 시스템영역 내 설계변수별 에너지소비 및 환경부하발생량, 그리고 비용분석에 대한 결과는 다음과 같다.

5.1 에너지소비 및 환경부하발생량

1) 자재생산단계

자재생산단계에서의 설계변수별 대안항목에 대한 에너지소비량 및 에에 따른 CO_2발생량 산출결과를 다음 표 8에서 나타낸다.

표 8. 설계변수 대안항목별 자재생산 에너지소비량(& CO_2발생량)

설계변수	에너지소비량(MJ/㎡)						
	대안_1	대안_2	대안_3	기준	대안_4	대안_5	대안_6
1	3,645 (281)	3,837 (296)	4,097 (316)	1,555 (122)	1,747 (137)	2,007 (157)	2,160 (169)
2-1	1,822 (141)	1,919 (149)	777 (61)	1,986 (153)	874 (69)	1,003 (79)	1,080 (85)
2-2	1,822 (141)	1,919 (149)	777 (61)	1,986 (153)	874 (69)	1,003 (79)	1,080 (85)
3-1	2,513 (209)	2,513 (209)	2,513 (209)	2,188 (182)	2,513 (209)	2,513 (209)	2,513 (209)
3-2	682 (55)	682 (55)	682 (55)	557 (45)	682 (55)	682 (55)	682 (55)
3-3	2,217 (184)	2,217 (184)	2,217 (184)	1,892 (157)	2,217 (184)	2,217 (184)	2,217 (184)
4-1	69 (5)	71 (6)	34 (3)	40 (3)	51 (4)	59 (5)	147 (12)
4-2	95 (7)	98 (8)	35 (3)	54 (4)	65 (5)	81 (7)	203 (16)
7	52 (4)	53 (4)	22 (2)	25 (2)	30 (2)	44 (4)	111 (9)

※괄호 안은 CO_2발생량(kg/㎡)을 나타냄

위 표 8에서 제시되는 것처럼, 대안항목별로 자재투입에 따른 에너지소비량 및 CO_2발생량은 설계변수 2-1과 2-2를 제외한 나머지 변수에서 기준안 대비 대안_4에서 대안_6으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났으며, 설계변수 7의 경우 기준안 대비 대안_6에서 에너지소비량과 CO_2발생량이 최대 약 4.5배 증가하는 것으로 분석되었다.

설계변수 2-1과 2-2의 경우 기준안이 가장 높은 에너지소비량과 CO_2발생량을 보였으며, 설계변수 2-1에서는 발생량이 가장 작게 나타난 대안_3보다도 약 2.5배 높게 분석되었다. 이는 기준안이 모두 금속프레임을 가지는 창호로서, 기타 대안항목 즉, PVC프레임 창호와 대비하여 동일한 투입비용에 따른 생산량을 기준하여 내재에너지를 분석할 경우 금속프레임이 약 1.7배 크게 분석되는 이유로, 동일 조건의 유리를 가지는 창호(설계변수 2-1의 대안_1과 대안_3)에서 금속프레임인 경우가 PVC프레임을 적용한 설계변수에 비해 약 2.3배 이상 에너지소비량과 CO_2 발생량이 증가하는 상황을 나타낸다.

2) 사용단계

① 운용(난방)

난방에너지소비량을 산출한 결과 기준건물의 설계안에 대한 에너지절감율은 34.42%로 건축물 에너지효율등급 2등급에 해당하며, 기준층 단위세대의 연간 난방에너지소비량은 12.5GJ/년(0.2GJ/㎡·년)로 산출되었다. 앞서 공동주택 수명주기를 최대 50년으로 가정하였으므로 이를 반영하여 설계변수별 대안항목에 대한 에너지소비량 및 이에 따른 CO_2발생량 산출결과를 다음 표 9에서 나타낸다.

표 9. 설계변수 대안항목별 난방에너지소비량(& CO_2발생량)

설계변수	에너지소비량(MJ/㎡)						
	대안_1	대안_2	대안_3	기준	대안_4	대안_5	대안_6
1	10,779 (614)	10,389 (592)	10,251 (584)	10,001 (570)	9,862 (562)	9,489 (541)	9,228 (526)
2-1	10,397 (592)	10,200 (581)	10,128 (577)	10,001 (570)	9,931 (566)	9,733 (555)	9,606 (547)
2-2	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)
3-1	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)
3-2	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)
3-3	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)
4-1	10,680 (608)	10,453 (596)	10,200 (581)	10,001 (570)	9,864 (562)	9,776 (557)	9,642 (549)
4-2	10,391 (592)	10,213 (582)	10,123 (577)	10,001 (570)	9,832 (560)	9,704 (553)	9,603 (547)
7	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)	10,001 (570)

※괄호 안은 CO_2발생량(kg/㎡)을 나타냄

위 표 9에서 제시된 것처럼, 대안별 열관류율이 최고 성능치로 갈수록 난방에너지소비량은 감소하였으며, 설계변수 1의 경우 기준모델 대비 대안_6에서 최대 약 8% 에너지소비량과 CO_2발생량이 감소하는 것으로 분석되었다.

설계변수 2-2, 3-1, 3-2, 3-3의 경우 침실에 간접 면하는 창호와 단위세대 내에 설치된 문의 종류로 대안별 열관류율의 변화가 있더라도 난방에너지소비량 변화에 미치는 영향이 나타나지 않았으며, 설계변수 7의 경우 외기에 간접 면하는 벽체의 단열재로 열관류율의 변화가 있더라도 난방에너지소비 변화에 영향이 미미하여 최종 에너지소비량이 변하지 않는 것으로 분석되었다.

② 교체 및 수선

설계변수별 교체 및 수선주기에 따른 자재의 투입량을 반영하여, 설계변수별 대안항목에 대한 에너지소비량과 이에 따른 CO_2발생량 산출결과를 다음 표 10에서 나타낸다.

표 10. 설계변수 대안항목별 교체·수선 에너지소비량(& CO_2발생량)

설계변수	에너지소비량(MJ/㎡)						
	대안_1	대안_2	대안_3	기준	대안_4	대안_5	대안_6
1	5,102 (394)	5,372 (414)	5,736 (443)	2,177 (171)	2,446 (192)	2,810 (220)	3,024 (236)
2-1	2,551 (197)	2,686 (207)	1,088 (86)	2,780 (214)	1,223 (96)	1,405 (110)	1,512 (118)
2-2	2,551 (197)	2,686 (208)	1,088 (86)	2,780 (214)	1,223 (96)	1,405 (110)	1,512 (118)
3-1	3,518 (292)	3,518 (292)	3,518 (292)	3,063 (255)	3,518 (292)	3,518 (292)	3,518 (292)
3-2	955 (76)	955 (76)	955 (76)	780 (62)	955 (76)	955 (76)	955 (76)
3-3	3,104 (258)	3,104 (258)	3,104 (258)	2,649 (220)	3,104 (258)	3,104 (258)	3,104 (258)
4-1	41 (3)	43 (3)	20 (2)	24 (2)	31 (2)	35 (3)	88 (7)
4-2	57 (4)	59 (5)	21 (2)	32 (3)	39 (3)	48 (4)	122 (10)
7	31 (2)	32 (3)	13 (1)	15 (1)	18 (1)	26 (2)	66 (5)

※괄호 안은 CO_2발생량(kg/㎡)을 나타냄

위 표 10에서 제시된 것처럼 단열재의 수명(교체주기)을 기준하여 건물의 수명주기를 50년으로 가정·분석한 결과 투입자재의 교체 없이 수선에만 해당되는 단열재를 설계변수로 한 4-2, 4-2, 7의 경우 에너지소비량 및 환경부하발생량이 자재생산단계와 대비해 60% 수준으로 나타나며, 기타 수선 외에 교체가 반영되는 모든 설계변수별 에너지소비 및 환경부하발생량은 자재생산 대비 약 140% 정도로 분석되었다.

5.2 비용

1) 직접비용(direct cost)

자재비용은 설계변수별 대안항목의 투입자재에 대한 단가를 조사하여 분석하였다. 자재생산에서 투입된 에너지(9개 에너지원)소비에 따른 비용은 이미 자재단가에 포함되어 있으므로 별도의 에너지소비에 따른 비용으로 구분·산출하지 않았다. 운용(사용)단계에서의 난방(가스) 에너지사용량에 따른 비용은 지역(기준건물) 가스요금을 적용하였으며, 교체 및 수선(사용)단계에서는 각 대안항목별 수선과 교체주기에 따라 산출되는 자재량에 투입자재의 단가를 적용하여 분석하였다.

2) 간접비용(indirect cost)

간접비용으로 정의되는 환경비용은 산출된 CO_2발생량에 현재 가장 활발한 탄소배출권 거래가 이루어지고 있는[12] EU-ETS에 속한 영국의 ECX의 EUA 탄소거래가격을 기준하여[13], 최근 본 거래소에서 3년 동안의 가격 변동을 분석한 결과인 €14.8/ton-CO2를 적용[14]하여 산출하였다.

12) ICE, ECX market future price(EUA), 2012

13) 조용수, 글로벌 탄소시장의 동향과 전망, 한국무역보험공사, 2008

14) 유로화에 대한 원화로 환산을 위해 2011년 평균 환율인 1,541.42원/유로(외환은행, 2012)를 적용하였다.

3) 총비용(total cost)

총비용 산출은 직접비용(에너지소비량 및 자재/에너지비용 반영)과 환경비용(환경부하량 반영)을 통합하여, 궁극적으로 본 연구에서 목표하는 에너지, 환경, 경제성을 통합·평가할 수 있는 설계방안의 기준을 제시한다.

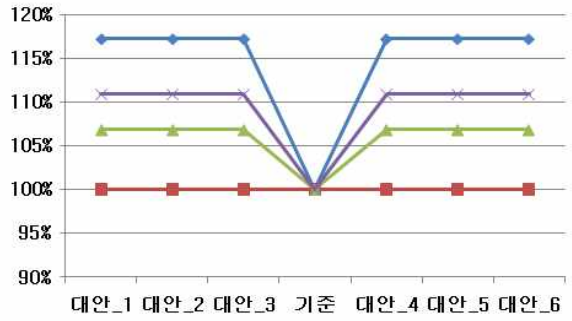
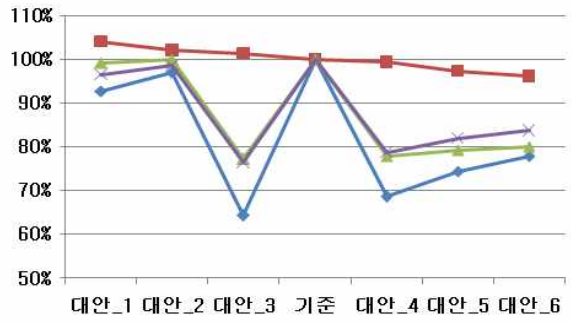
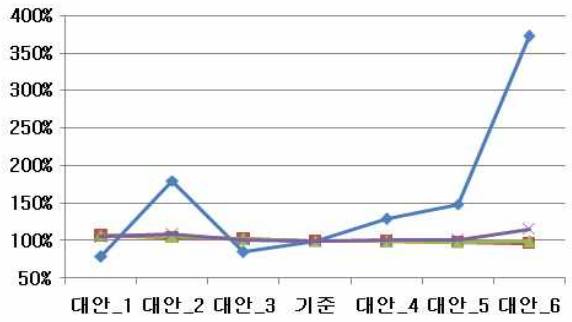
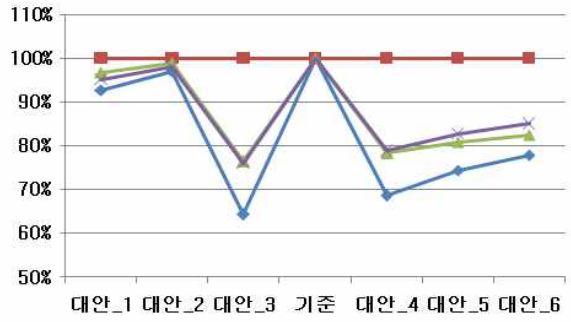
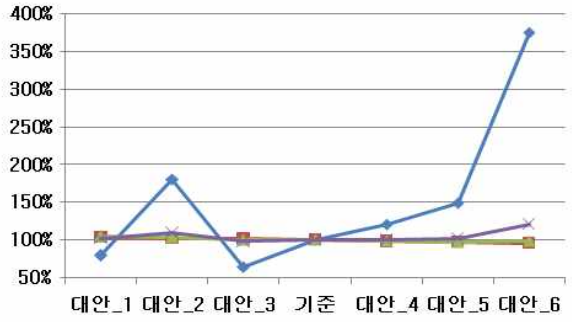
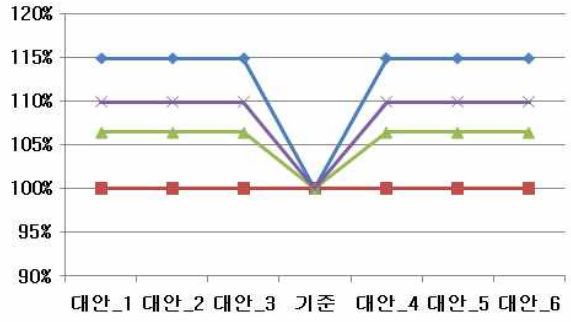
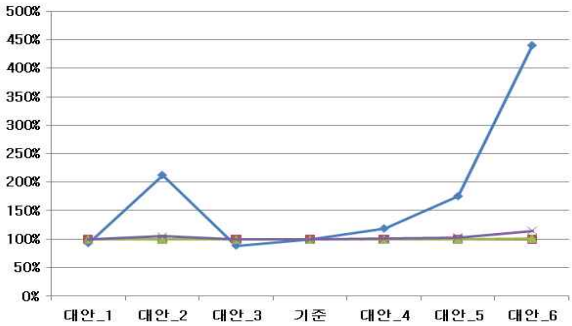
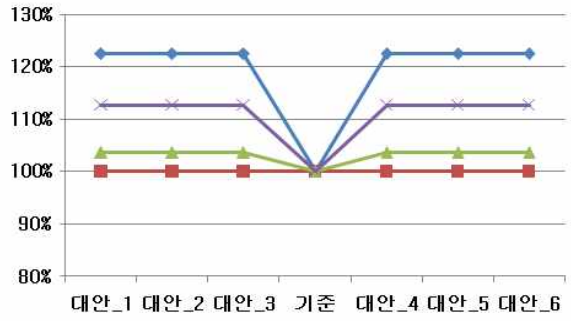
이상 이와 같은 기준 하에 건물의 전생애 동안 발생하는 설계변수별 직접비용(자재비용, 난방비용) 및 간접비용(환경비용) 그리고 이를 통합한 총비용의 산출결과를 다음 표 11에서 나타내며, 각 비용변화에 대한 분석결과를 기준안과 대비하여 표 12에서 요약하여 나타낸다.

표 11. 설계변수 대안항목별 총비용 산출결과

설계변수		비용(원/㎡)						
		대안_1	대안_2	대안_3	기준	대안_4	대안_5	대안_6
1	Ⓐ	646,080	676,320	717,120	448,320	478,560	519,360	543,360
	Ⓑ	183,003	176,391	174,034	169,794	167,436	161,110	156,666
	Ⓒ	29,400	29,710	30,630	19,684	20,319	20,935	21,241
	Ⓓ	858,483	882,421	921,784	637,797	666,315	701,405	721,267
2-1	Ⓐ	323,040	338,160	224,160	348,720	239,280	259,680	271,680
	Ⓑ	176,513	173,167	171,948	169,794	168,601	165,242	163,088
	Ⓒ	21,211	21,360	16,509	21,386	16,658	16,948	17,112
	Ⓓ	520,764	532,687	412,617	539,900	424,539	441,870	451,879
2-2	Ⓐ	323,040	338,160	224,160	348,720	239,280	259,680	271,680
	Ⓑ	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794
	Ⓒ	20,697	21,135	16,344	21,386	16,749	17,297	17,625
	Ⓓ	513,530	529,088	410,298	539,900	425,823	446,770	459,099
3-1	Ⓐ	408,000	408,000	408,000	355,200	408,000	408,000	408,000
	Ⓑ	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794
	Ⓒ	24,431	24,431	24,431	22,952	24,431	24,431	24,431
	Ⓓ	602,224	602,224	602,224	547,946	602,224	602,224	602,224
3-2	Ⓐ	288,000	288,000	288,000	235,200	288,000	288,000	288,000
	Ⓑ	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794
	Ⓒ	15,983	15,983	15,983	15,435	15,983	15,983	15,983
	Ⓓ	473,776	473,776	473,776	420,429	473,776	473,776	473,776
3-3	Ⓐ	360,000	360,000	360,000	307,200	360,000	360,000	360,000
	Ⓑ	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794
	Ⓒ	23,084	23,084	23,084	21,605	23,084	23,084	23,084
	Ⓓ	552,877	552,877	552,877	498,599	552,877	552,877	552,877
4-1	Ⓐ	10,342	23,654	11,150	13,195	16,949	19,517	49,067
	Ⓑ	181,323	177,462	173,167	169,794	167,463	165,973	163,697
	Ⓒ	14,064	13,794	13,355	13,115	12,970	12,878	12,966
	Ⓓ	205,729	214,910	197,673	196,104	197,382	198,368	225,731
4-2	Ⓐ	14,221	32,525	11,536	17,976	21,728	26,834	67,467
	Ⓑ	176,419	173,397	171,866	169,794	166,922	164,754	163,033
	Ⓒ	13,758	13,563	13,259	13,159	12,972	12,850	13,076
	Ⓓ	204,397	219,485	196,662	200,929	201,622	204,438	243,577
7	Ⓐ	7,757	17,741	7,387	8,355	9,896	14,637	36,800
	Ⓑ	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794	169,794
	Ⓒ	13,137	13,156	13,064	13,072	13,086	13,126	13,323
	Ⓓ	190,688	200,690	190,245	191,220	192,776	197,557	219,917

※ Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ는 각각 자재비용, 난방비용, 환경비용, 총비용을 나타냄

표 12. 설계변수 대안항목별 기준안 대비 비용 변화율

항목 번호	비용별 변화율	항목 번호	비용별 변화율
1		3-3	
2-1		4-1	
2-2		4-2	
3-1		7	
3-2			자재비용 난방비용 환경비용 총 비용 ※ 기준안 100% 대비 각 비용별 대안항목별의 변화율을 나타냄

① 직접비용

표 11에서 제시된 설계변수 대안항목별 비용의 변화를 표 12에서 비용별 변화로 분석한 결과 난방비용은 열관류율 성능치가 최소치에서 최대치로 가는 설계변수별 대안_1에서 대안_6으로 갈수록 감소하는 것으로 나타났으며, 기준안 대비 난방비용의 변화율은 4~8% 범위를 나타냈다. 자재비용을 분석한 결과 난방비용의 변화에 따른 일정한 패턴의 변화가 없이 설계변수 대안항목별 기준안 대비 적게는 7%에서 많게는 340% 차이가 분석되었다. 즉, 열관류율의 성능치가 최대로 갈수록 분명 난방에너지의 감소는 발생하나 무리한 설계변수를 선정하여 자재비용의 증가를 도모할 필요성은 없는 것으로 해석되었다. 반면에 난방에너지의 변화는 미미하나 자재비용의 변화가 크게 나타난 설계변수 7의 경우 난방비용의 변화는 미미한 것으로 분석되었으나, 자재비용의 변화는 기준안 대비 대안_6에서 4.4배 높은 것으로 분석되었다.

② 간접비용

환경비용의 경우 설계변수 1에서부터 3-3까지의 비용변화는 자재비용의 변화와 유사한 경향으로 분석되었으나, 설계변수 4-1, 4-2, 7에서는 앞서 분석한 자재비용의 변화가 큰 반면 환경비용의 변화율은 1~7% 범위를 나타냈다. 이는 창호 및 문을 설계변수로 하는 항목(1, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 3-3)과 단열재를 설계변수로 하는 항목(4-1, 4-2, 7)의 시스템영역(자재생산 및 사용단계) 내에서 환경부하발생량의 비율(창호 및 문의 경우 투입자재에서 발생하는 환경부하량과 난방에너지 소비에 따른 환경부하량비율이 각각 35%, 65% 이며, 단열재의 경우 각각 2%, 98% 비율로 나타남)이 서로 다르기 때문인 것으로 분석되었다.

즉, 산업연관법에 의한 분석에서 각 자재의 산업코드분류가 상이하며, 산업코드별 환경부하발생량의 차이가 발생하고 이를 환경비용으로 전환 시 그에 대한 차이가 곧 앞서 분석한 설계변수별 환경비용의 변화율에 반영 된 것으로 분석 되었다.

③ 총비용

위와 같이 동일한 대안(자재)이라도 각 요소별(비용, 에너지소비, 환경부하) 그리고 생애주기단계별로 평가결과가 다른 특성이 나타나는 바, 이를 통합하여 평가할 수 있는 총비용의 개념 하에서 각 설계변수(대안항목)별 분석한 결과를 다음 표 13에서 나타낸다.

표 13. 설계변수 대안항목별 총비용 평가결과

설계변수	자재비용	난방비용	환경비용	총비용
1	기준안	대안_6	기준안	기준안
2-1	대안_3	대안_6	대안_3	대안_3
2-2	대안_3	대안_6	대안_3	대안_3
3-1	기준안	대안_6	기준안	기준안
3-2	기준안	대안_6	기준안	기준안
3-3	기준안	대안_6	기준안	기준안
4-1	대안_1	대안_6	대안_5	기준안
4-2	대안_3	대안_6	대안_5	대안_3
7	대안_3	대안_6	대안_3	대안_3

위 표 13에서는 각 평가요소를 기준하여 설계변수별 대안항목에 대한 선정결과와 함께, 각 평가요소에 대한 결과를 통합·고려할 수 있는 총비용의 개념 하에서 최선의 대안항목 선정결과를 나타낸다. 각 평가요소별 분석기준 시에는 자재(비용), 난방(에너지), 환경(부하)비용이 서로 다른 결과(최선의 대안선정)를 나타낸다. 사용단계에서의 난방비용을 평가 한 즉, 에너지소비량 기준에서는 설계 시 열관류율의 낮은 안을 선택할수록 좋은 결과를 나타내나, 자재비용 및 환경의 측면에서는 난방비용과 대비하여 일정한 결과를 예측할 수 없는 것으로 분석되었다. 즉, 동일한 대안(자재)의 분석에 있어서 대안의 특성에 따라 평가요소별 그리고 생애단계별 분석기준에 따라 일률적이지 않은 결과가 나타나는 결과로 궁극적으로 건축물 전생애를 통한 에너지 및 환경 그리고 경제성요소를 통합·평가하는 총비용의 관점에서의 설계안 도출이 필요한 것으로 판단된다. 이러한 모든 요소를 통합·고려하는 총비용의 평가결과에서는 각 설계변수별 대안항목으로는 기준안 및 대안_3을 선정하는 가장 효율적 설계방안으로 제시되었다.

6. 결 론

본 연구에서는 공동주택을 대상으로 건축물의 에너지효율 측면뿐만 아니라 환경 및 경제성을 통합·평가할 수 있는 설계방안의 제시를 목표로 하여 다양한 설계변수와 각 설계변수 대안항목별 열관류율 변화에 따른 전생애 에너지소비량, 환경부하발생량, 자재비용 요소 등을 분석하고 이를 통합한 총비용 평가를 수행하였으며, 이에 대한 주요 결과는 다음과 같다.

(1) 현재 건축물 에너지효율등급의 평가기준 및 방법에 의해 등급을 받은 공동주택 20개 단지를 대상으로 효율등급별 환경부하발생량(CO_2발생량)을 비교·분석한 결과 2등급에 해당하는 공동주택은 1등급에 해당하는 공동주택 대비 환경부하발생량이 20% 낮은 것으로 나타났으며, 에너지절감율 면에서는 2등급에 비해 1등급이 약 7% 높은 것으로 나타났다.

이처럼, 건축물 에너지효율등급이 높을수록 투입자재에 대한 에너지소비량과 환경부하발생량은 높은 반면, 공동주택에 연간 소비되는 난방에너지의 절감율은 향상되는 것으로 나타났다.

(2) 강원도 원주시 A단지의 공동주택을 기준건물로 하여 총 9개의 설계변수별 44개의 대안항목을 선정한 후, 대안항목별 에너지소비량 및 환경부하발생량을 비교·분석하였다. 설계변수 1, 2-1, 4-1, 4-2에서는 대안항목별 난방에너지소비량이 대안_1에서 대안_6으로 갈수록 감소하는 것으로 분석 되었으며, 설계변수 2-2, 3-1, 3-2, 3-3, 7의 경우 난방에너지소비량의 변화가 없는 것으로 분석되었다. 반면 설계변수 대안항목별 자재생산단계 및 교체·수선단계(사용)에서 투입자재에 따른 에너지소비량 및 환경부하발생량은 대안_4에서 대안_6으로 갈수록 증가하는 것으로 나타났다. 또한, 산업연관표에 상에 제시된 403개의 기본산업구분에서 산업분류에 따라 자재의

에너지소비량 및 환경부하발생량의 차이가 큰 것으로 나타났으며, 설계변수 1, 2-1, 2-2의 경우 기준안 대비 최대 2.6배 이상의 에너지소비량 및 환경부하발생량 차이를 나타냈다.

(3) 설계변수별 모든 대안항목에 대해 건물의 전생애 동안에 발생하는 비용(직접비용 및 간접비용) 분석결과 자재비용의 경우 산업연관표에 의한 기본산업구분에서 산업코드가 같은 자재를 사용한 설계변수에서는 대안항목별 열관류율의 성능치가 최고치로 갈수록 비용이 증가하는 것으로 나타났다. 설계변수 7의 대안_6의 경우는 최대 4.4배 이상 비용의 변화가 나타났지만, 난방비용의 경우 성능치가 최고치로 갈수록 에너지소비량이 감소함과 동시에 난방비용도 감소하는 것으로 나타났다.

간접비용의 경우 환경비용에 대한 각 설계변수 대안항목별 분석결과 창 및 문을 설계변수로 한 항목(설계변수 1, 2-1, 2-2, 3-1, 3-2, 3-3)의 경우 자재의 생산 및 교체·수선에 대한 환경부하발생량의 차이로 환경비용의 변화가 크게 나타나는 반면 단열재를 설계변수로 한 항목(설계변수 4-1, 4-2, 7)의 경우 환경비용의 변화는 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 분석되었다.

(4) 설계변수 및 대안항목별 에너지, 환경, 경제성을 통합·평가하기 위해 산출된 직접비용 및 간접비용을 통합하여 총비용을 분석한 결과 에너지효율을 고려한 설계방안으로는 열관류율 성능치가 최고치인 대안_6으로 선정되었다. 자재비용(비용효율)을 고려한 분석에서는 기준안 및 대안_1, 대안_3으로 선정되었으며, 환경성능 즉, 환경비용을 고려한 설계방안으로는 각 설계변수별 기준안 및 대안_3, 대안_5로 나타났다. 에너지 및 환경, 경제성까지 이들 모두를 평가한 총비용 분석에서는 각 설계변수별 기준안 및 대안_3으로 선정되었다.

이상 본 연구는 공동주택 설계에 있어 사용단계에서의 에너지소비량에 의한 에너지절감율을 가지고 등급을 평가하는 현재의 건축물 에너지효율등급 인증 기준에서 벗어나, 건물의 전생애를 고려한 비용 및 에너지소비량 그리고 환경부하발생량을 통합·평가할 수 있는 총비용으로 산출하였다. 본 결과 산출된 총비용을 에너지절감율과 비교·분석하여 총비용이 최대한 적게 증가하면서 에너지절감율이 큰 최적의 대안항목을 선정하였다.

이는 건축물 전생애동안 에너지효율 측면뿐만 아니라 환경성능까지 고려된 효율적인 설계기준 마련에 도움이 될 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 국토해양부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토해양부고시 제 2010-1031호, 2010
2. 지식경제부, 건축물에너지효율등급 인증규정, 지식경제부고시 제 2009-329호, 2009
3. 에너지관리공단, 건축물 에너지절약 설계기준 해설서, 2011
4. 한국물가정보, 종합적산정보, 2012, www.kpi.or.kr
5. 한국건설적산연구소, 표준일위대가표, 2012
6. 주택법 시행규칙, 장기수선계획의 수립기준, 국토해양부령 제 502호 별표5, 2012
7. 에너지관리공단, 에너지성능평가프로그램, http://www.kemco.or.kr/building
8. ICE, ECX market future price(EUA), 2012
9. 조용수, 글로벌 탄소시장의 동향과 전망, 한국무역보험공사, 2008
10. 이수진, 비용효율을 고려한 에너지절약형 공동주택 설계모델 설정, 석사학위논문 이화여자대학교 건축학과, 2009
11. 정해권, 인증제도의 현황과 설계대안에 관한 연구, 인하대학교 공학대학원 건축공학과, 2011
12. 유기형, 조동우, 송규동, 공동주택의 에너지효율등급 평가기법 개발 및 등급 설정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 22권 12호, 2006
13. 김상우, 장희경, 김영탁, 윤성환, 건물에너지효율등급을 고려한 공동주택의 설계변수별 비용변화에 대한 기초적 검토, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 29권 1호, 2009
14. 김낙현, 태성호, 전과정 CO_2 평가를 통한 공동주택의 친환경 내구설계기법 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 28권 2호, 2012
15. 김한수, 윤해동, 변운섭, 창호 및 단열재 변수에 따른 공동주택 에너지효율등급 평가 사례, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2009
16, 송수민, 오세훈, 박효순, 공동주택의 건물에너지효율등급 향상을 위한 설계기법에 관한 연구, 한국생태건축학회 추계학술발표대회 논문집 11권 2호, 2011

투고(접수)일자: 2012년 11월 13일
수정일자: (1차) 2012년 12월 6일
게재확정일자: 2012년 12월 10일