

에너지 저감형 그린홈 프로토타이핑을 위한 설계요소 분석 연구

Analytic Study on the Design Elements for Energy Conservative Green-Home Prototyping

김 정 은* 장 성 주** 하 미 경*** 성 혜 연**** 김 경 완*****
Kim, Jung-Eun Chang, Seong-Ju Ha, Mi-Kyoung Sung, Ella Hae-Yoen Kim, Kyung-Wan

Abstract

In respond to the global energy crisis and climate change, there have been many ongoing national efforts to develop a sustainable housing prototype followed by “2 million Green Home Project” in Korea. More than 50% of nation’s population are currently living in apartment housing thus the country is seriously in need of developing green apartment prototype. In this research, we focused on energy-conservative green apartment design prototype that have both passive components and active systems explored in a systemic design approach. After selecting an existing basic apartment unit, we analyzed and compared statistical data with the simulated annual energy consumption to match these two data sets for validating simulation accuracy performed with TRNSYS package. We performed energy simulations with different passive design factors such as varied insulation thickness, window types and infiltration rates as well as the active design factors including boilers and lighting fixtures to analyze their impacts on the energy performance of the housing unit using TRNSYS software. As a result, we acquired significant energy reduction effect with explored design strategies but the life cycle cost analysis for the final design guideline would need to be performed. In this study, we focused on a systematic comparative energy analysis based on TRNSYS that can improve the design of a green apartment housing.

키워드 : 그린 홈, 패시브 요소, 능동형 시스템, 단열, 창호 시스템, 침기량, 시물레이션

Keywords : Green home, Passive elements, Active system, Insulation, Glazing system, Infiltration, Simulation

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

선진국을 중심으로 화석에너지의 고갈에 따른 에너지 위기와 기후변화에 대응하기 위해 지속 가능한 주거형식의 개발[1][2]과 더불어 주택을 대상으로 한 에너지절약기술의 탐색과 정책지원 등이 단계별로 시행중에 있다. 특히 정부는 ‘그린홈 200만호 사업’을 통해 주거건물의 에너지 절약기술에 많은 지원을 하고 있는 실정이다. 국내의 주거형태는 2004년 이후 공동주택의 사용비율이 전체

주거비율의 50%를 넘어서고 있고 2012년에는 60%이상으로 확대될 전망이다. 이러한 국내 주택산업 추세를 감안할 때, 공동주택을 중심으로 하는 에너지 절약 주택의 프로토타입 개발과 공동주택의 신재생에너지 도입 방안에 대한 가이드라인의 수립이 절실한 상황이라 할 수 있다.

그동안 에너지 절감형 공동주택의 패시브 설계요건에 대한 다양한 시물레이션 기반 민감도 분석 연구가 진행된 바 있다[2,3]. 본 연구에서는 현실성 있는 비교를 위하여 가상이 아닌 실제하는 공동주택 사례를 토대로 에너지 성능개선에 효과가 있다고 밝혀진 주요설계요건들의 영향도를 테스트하고자 하였다. 이는, 국내 그린홈 설계에 적용 가능한, 기술발전을 고려한 가이드라인을 제시하려는 노력의 시발점이다.

1.2 에너지 성능 평가기법 및 프로세스

본 연구에서는 먼저 기존 연구들을 통해 밝혀진 공동주택의 주요 패시브 및 액티브 건축설계적 요소들을 추출하여 공동주택의 에너지성능을 높일 수 있는 요소들을 정리하였다. 다음, 그 요소들의 변화에 대한 에너지 절감

* 주저자, 연세대학교주거환경학과 박사과정 (je-kim@yonsei.ac.kr)
** 교신저자, KAIST 미래도시연구소 부교수 (schang@kaist.ac.kr)
*** 연세대학교 주거환경학과 교수 (mkha@yonsei.ac.kr)
**** KAIST 건설 및 환경공학과 석사과정 (sung81@kaist.ac.kr)
***** (주)오씨에스 도시건축 팀장(kkw@yahoo.com)
본 연구는 KAIST EEWS 사업단에서 지원한 EEWS-2011-N01110033-01 과제의 일환으로 수행되었음.

민감도 시물레이션을 바탕으로 지속가능 공동주택의 프로토타입을 제공하고자하였으며, 이를 위한 연구 프로세스는 다음과 같다.

첫째, 통계문헌조사를 통해 국내의 공동주택 에너지 전체 사용량 및 용도별 사용량을 조사하였다.

둘째, 2010년 10월 개정된 “건물의 에너지 절약 설계 기준 (국토해양부 고시 제 2010-371호)”에 적합한 물리적 공동주택 설계요소들로 구성된 실존 공동주택 기본형 모델을 설정하였다.

셋째, 기본 공동주택 모델의 문헌조사에 의거한 통계적 에너지 소비량 데이터와 TRNSYS 에너지 시물레이션 프로그램을 통해 계산된 에너지 사용량을 비교분석하여 TRNSYS와 기본모델 공동주택 입력값들의 타당성 검토를 실시하였다. 또한, 타당성 분석 결과를 기반으로 공동주택에서 사용되어지는 에너지사용을 영역별로 구분하여 선택된 공동주택의 에너지 소비특성을 분석하였다.

넷째, 이를 토대로 공동주택 기본모델에 패시브 및 액티브 건축설계적 요소들을 적용한 TRNSYS 시물레이션을 수행하였다. 그 다음, 공동주택의 그린홈 설계적용기술에 따른 에너지 절감량을 예측하고 이를 기반을 한 그린홈 설계요소들의 상대적 중요성을 제시하였다.

2. 선택대상 공동주택의 에너지 사용량 분석

신뢰성 있는 에너지소비실태를 파악하기 위해서 국내 기존 공동주택들의 통계자료가 조사되었다. 국토해양부 주택건설공급과에서 발간한 2001년-2007년 동안의 지역별 주택규모현황 자료를 보면 99.0m²-132m² 즉 30평형대의 공동주택세대가 전체의 33.8%에 이른다[11]. 통계청 조사관리국 인구총조사과의 2005년도 자료 ‘주택의 종류/연건평/거주인수별 주택-시군구’를 보면 29평-39평형대 공동주택의 경우, 거주인 4인인 경우가 377,892 세대로 가장 많았다[12]. 한편, 동일 기관에서 같은 시기에 조사한 ‘집유형태/가구원수/사용방수별 가구(일반가구)-시군구’ 자료에 의하면 가구원수가 4인인 경우 사용방수는 4개인 경우가 총 2,523,972 세대로 대세를 이루고 있다[13]. 이에 근거하여 본 연구에서는 4인이 거주하는 방 4개의 약 126m²(37평형)의 실존하는 공동주택 세대를 기반으로 2008년 총에너지 조사보고서 기반 에너지 소모량을 산출하였다. 이 때, 도시가스 및 전기사용량은 모두 kWh(2차 에너지 기준 : 860kcal/kWh)로 통일하여 상대비교를 수행하였다.

1) 4인 구성원 공동주택의 에너지 소비량 기준

표 1은 2008년도 에너지 총 조사 보고서의 4인기준 주택에너지 사용량 중, 개인주택이나 빌라 등에서 사용하는 등유, 중질중유, 프로판과 단지전체 중앙공급식에 적용되는 열에너지 항목을 제외하고 본 연구에서 대상으로 하고 있는 현재 국내 일반적 공동주택 세대에 해당하는 취사, 난방, 급탕, 전력(냉방 및 기기소요 전력 포함) 사용량을 나타낸 것으로 세대의 연간에너지 소비량은 11,751.8kWh로 계산되었다.

표 1. 4인기준 공동주택 세대의 에너지 소비량 분석

구분	4인기준 사용량	환산표 (kwh/m ²)	총사용량 (kWh)
도시가스(취사용)	122m ³	11.06	1,349.32
도시가스(난방용)	604.4m ³	11.06	6,680.24
온수(급탕)	25.3 Mcal	1.163	29.42
전력	3692.9kWh		3,692.9
총사용량			11,751.8 kWh

출처. 에너지총조사 보고서. P.147 주택형별 가구원수별 표본가구당 에너지 소비, 2008, 지식경제부

공동주택에서의 에너지 사용량 분포에 대한 분석은 여러 기존 관련 문헌에서 발견된다. 독일과 스위스의 친환경 주택사례를 분석한 경우에는 난방과 환기, 온수, 전기 기기, 조명등이 포함되고 있으며[5], 한국에너지 기술연구소의 제로 에너지 솔라하우스(ZeSH) 실증시험연구에서는 난방과 급탕처럼 열원관련 에너지 소비가 주택 에너지의 78% 정도를 차지한다고 분석한 바 있다[8]. 한편, 현재 우리나라의 대부분의 공동주택에서 도시가스나 전기를 이용한 취사, 전기 에너지 사용을 전제로 한 에어컨 냉방, 조명 및 다양한 전기/전자 제품들을 고려할 때 주택내 에너지 사용을 난방과 급탕을 포함한 열원, 냉방, 조명, 취사, 기기의 5분법으로 나누어 고찰하는 것이 타당하다고 판단된다.

한편, 4인기준 공동주택에서 사용되어지는 에너지는 급탕 포함 난방 57%, 냉방 포함 전력 31%, 취사가 12%로 나타났다. 이 중 급탕이나 취사 소요 에너지는 건축물의 설계방식과 무관하게 가족 구성원인과 생활패턴에 좌우되는 요소로 본 연구의 주된 관심은 아니다. 한편, 난방 에너지사용비율이 높은 원인은 업무용시설 및 상업용 시설에 비해 주거용건물의 경우 실내의 온도차가 큰 난방기 야간 에너지 사용 비율이 높기 때문인 것으로 분석된다. 또한 전력사용량에 냉방에너지 사용량이 포함되어 있는 것을 감안하면 공동주택의 에너지 절감을 위한 기본 요소는 난방에너지의 사용량을 줄이는 요소기술이 우선적으로 검토되어야 한다는 것을 알 수 있다.

3. 공동주택 에너지 성능 해석을 위한 모델링

3.1 에너지 성능 해석모델 수립

에너지 저감형 그린홈 모델 수립을 위한 기본 도구는 미국 위스콘신 대학에서 개발한 정교한 복합 에너지 분석 패키지인 TRNSYS시물레이션 프로그램을 사용하였다. 구체적 방법으로는, 문헌과 실건축 사례들을 통해 조사된 관련 자료와 더불어 선택된 공동주택 기본형 세대에 대한 에너지해석모델을 만들고 선택된 설계변수들에 대한 민감도 시물레이션 분석을 적용하여 에너지저감효과에 대한 평가를 수행하였다. 기존의 대부분의 건물 에너지 시물레이션 소프트웨어들이 패시브 설계요건들의 에너지 성능평가에만 초점을 맞추어 개발된 데 비해서 TRNSYS는 패시브와 액티브 시스템 모두를 포괄하고 신재생 에너지 시스템이나 다양한 설비 및 기기들의 영향

을 종합적으로 평가할 수 있는 내적모델을 구비하고 있다. 그림 1은 TRNSYS 시뮬레이션 대상 공동주택 세대의 내적 모델을 표시한다.

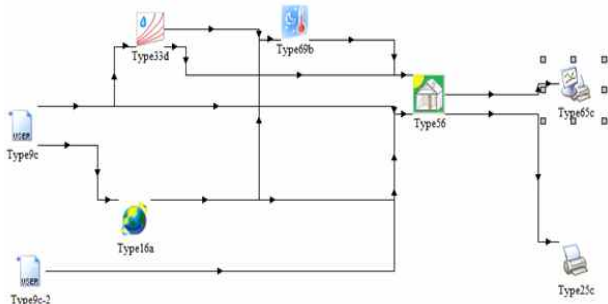


그림 1. TRNSYS 시뮬레이션을 위한 기본형 세대의 내적모델

1) 선택된 표준형 공동주택의 일반 설계요소 분석

선택된 공동주택 기본형 세대 에너지 모델 설정과 관련하여 건물의 위치와 규모, 세대 내 설비 및 기기 운영 현황 등의 실제적인 요소들의 시뮬레이션 입력자료 적합성을 우선 고찰하였다. 대상 건축물의 일반적 설계요소들은 시뮬레이션을 이용한 에너지 부하검증 및 평가의 타당성 확보에 필요한 기초를 구성한다. 진술한 바와 같이, 본 연구의 대상건물은 실재하는 약 126m²의 30% 에너지 저감을 목표로 설계된 아파트 세대이다. 층별로, 계단실 양측 2세대 배치형 20층 규모의 공동주택 주동 내 중간층인 10층의 한쪽 세대를 대상으로 하였으며 장소는 대전광역시로 설정하였다. 위 아래층 세대와 동일시기에 실내온도차이가 미미하기에 바닥이나 천장을 통한 열손실은 무시하였으며, 층수가 높지 않은 좌우 대칭형 세대배치라 최상층과 지상층을 제외한 동일 주동내 세대들의 에너지 소모량의 차이는 미미한 것으로 판단하였다. 이렇듯 평가의 기준이 되는 기본 모델을, 이미 확산되고 있는 공동주택 에너지 효율 인증등급 2등급 이상의 실제 공동주택 세대로 설정함으로써 최근 급속히 발전하는 그린홈 기술에 발 맞추어 연구 결과의 적용 실효성을 제고하는 효과가 있을 것으로 판단된다. 표 2는 이러한 기본모델

공동주택 세대의 개요를 표시하며 이 중 일부 정보는 시뮬레이션 입력값으로 직접 사용되었다. 그림 2는 선택된 공동주택 기본형 세대모델의 평면도이다.



그림 2. 공동주택 기본형 모델 평면

2) 공동주택 세대 내 구성원들의 스케줄과 발열

본 연구에서 선택한 공동주택 세대는 직장을 가지고 있는 부부와 자녀들을 위한 것으로 설정하였다. 모든 구성원들은 아침 8시에 기상하며 출근시간인 9시에 외출을 하는 패턴을 보인다. 저녁 6시에 들어와 취침 시간인 11시까지 침실, 주방 그리고 거실이 위치한 OPEN ZONE에서 주로 활동을 하는 것으로 가정하였다. 하루 중 활동이 활발한 5시간 동안 에너지 소비량이 가장 많고 구성원들의 신체발열량에 따라 소비량도 증가 또는 감소된다. TRNSYS 모듈 중 하나인 트랜빌드에 필요한 입력값인 인체발열 기준은 ISO(International Standards for Business, Government and Society)에서 2005년도에 발행된 ISO 7730을 기준으로 선정되었다. 직장활동을 하는 구성원들의 공동주택에서의 일반적인 활동은 신체 에너지를 많이 필요로 하지 않는다. 따라서, 활동 정도는 앉거나 쓰기 (Seated, Very light writing)로 선정했으며 구성원 당 현열은 65 W, 잠열은 55W 정도의 소비로 추정하였다. 조명기기는 주거 에너지 소비량에 큰 비중을 차지하는 요소로서, 보다 정확한 에너지 부하 평가를 위해 합리적인 조명 스케줄을 설정하였다. 한국전력에 따르면 현재 여름철 시간대별 차등요금은 경부하 (23시~9시), 중간부하 (9시~11시, 12~13시, 17~23시) 최대부하 (11~12시, 13~17시)로 나뉘어져 있다. 겨울철의 경우, 피크요금 시간대는 18~23시로 설정되어 요금이 부과되고 있다. 시뮬레이션 분석 결과에서, 특히, 1월, 10월~12월의 전력 사용량 증가는 동절기에 전력을 사용한 추가적 난방기구사용, 일조시간 감소로 인한 조명에너지 증가, 지역난방 사용 시 온수공급량 증가 및 그에 따른 반송동력 증가 등에 의한 것으로 분석된다.

조명기기 사용시간은 구성원들의 스케줄에 따라 아침에는 8시부터 9시, 저녁에는 6시부터 11시까지로 지정하였다. 또한 장소와 활동에 따른 조명기기 사용은, 1을 최대값, 0은 활동이 없을 경우의 값으로 정리하였다. 거실

표 2. 분석 대상 가상 공동주택 세대의 건축개요

개요	대지위치	대전광역시
	용도	공동주택
	구조	철근 콘크리트조
	규모	지하 1층, 지상 20층
	세대면적	126m ²
	세대구성	4명
	단면구성	시멘트벽돌쌓기, T=50 단열재, 시멘트 몰탈 및 수성페인트마감
	창호	T=80 알루미늄창호 T=12mm 맑은유리 T=90 플라스틱창호
	지붕	평슬라브지붕
	냉방	EHP 냉방 시스템
난방	급탕/난방 가스 보일러	
난방기간	7월1일 - 10월 15일	
난방기간	10월 15일 - 3월 30일	

은 가장 많은 구성원들이 활동을 하는 곳으로 최대치에 가까운 값인 0.8로 입력하였고 침실은 취침 전과 기상 후 시간을 보내는 곳으로 중간 값인 0.5로, 주방, 욕실/ 화장실과 현관/발코니는 일시적 활동이 많은 장소이므로 0.2와 0.1의 낮은 값으로 입력하였다.

3) 건물 세대 내 조명기기 열부하량

위에서 주어진 조명기기 스케줄 외에 조명기기에서 생산되는 열부하량은 천장의 높이, 조명기기의 종류와 조도, 햇빛의 일사량과 날씨 등 여러 요소들에 의해 영향을 받는다. 본 연구에서는, 가장 일반적으로 가정에서 사용되는 형광등을 표준형으로 선정하였다. 표준형 형광등의 효율 (Luminaire Efficacy)은 60 lumen/ W이며 열부하값은 표 3과 같이 국내 KS 조도기준을 기반으로 계산하였다.

표 3. 한국의 KS 조도기준 (KS A 3011)-주택 조도기준

장소	거실	침실	주방	욕실/ 화장실	현관/ 발코니
활동	일반 활동	일반 활동	전반		전반
조도 표준치 (lx)	30-40-60	15-20-30	60-100-150	60-100-150	60-100-150

분석대상인 표준형 평면도에서 에너지 평가를 위해 생성된 6개의 영역(Zone)에서 위의 표와 같이 장소에 따라 나누어진 중간 조도표준치를 기준으로 하여 조명기기를 디자인하였다. 또한, 시뮬레이션에서 요구되는 조명기기의 열부하측정도는 위의 두 기준 값을 기반으로 다음과 같이 설정하였다.

- a. 남향에 위치한 발코니:
 $(100 \text{ lumen/m}^2)/(0.5*(60\text{lumen/W}))=3.33\text{W/m}^2$
- b. 오픈 존 (거실, 침실, 주방):
 $(75 \text{ lumen/m}^2)/(0.5*(60\text{lumen/W}))=1.5\text{W/m}^2$
- c. 거실 화장실:
 $(100 \text{ lumen/m}^2)/(0.5*(60\text{lumen/W}))=3.33\text{W/m}^2$
- d. 화장실:
 $(100 \text{ lumen/m}^2)/(0.5*(60\text{lumen/W}))=3.33\text{W/m}^2$
- e. 북향에 위치한 발코니:
 $(100 \text{ lumen/m}^2)/(0.5*(60\text{lumen/W}))=3.33\text{W/m}^2$

3.2 기본형 공동주택세대 모델 시뮬레이션 신뢰도 평가

위에서 조사한 통계자료와 시뮬레이션을 통한 에너지 소비량을 비교해보면 실사용 에너지량은 11,751.8kWh이고, TRNSYS 시뮬레이션 분석에 의한 총에너지 사용량은 11,766kWh로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그림 3에서처럼 TRNSYS 시뮬레이션에 의한 에너지 소비량을 용도별로 분석해 보면, 전기에너지를 사용하는 기기 2,488kWh, 조명 1,036kWh, 냉방 188kWh로 나타났다. 특히 냉방사용량이 난방사용량에 비해 적게 나타난 것은

일반 가정에서 실제 사용하는 냉방시간이 난방사용시간에 비해 현저히 낮고, 냉방에 사용되는 EHP(Electric Heat Pump)의 COP(Coefficient of Performance)가 보일러의 효율에 비해 높기 때문인 것으로 판단된다.

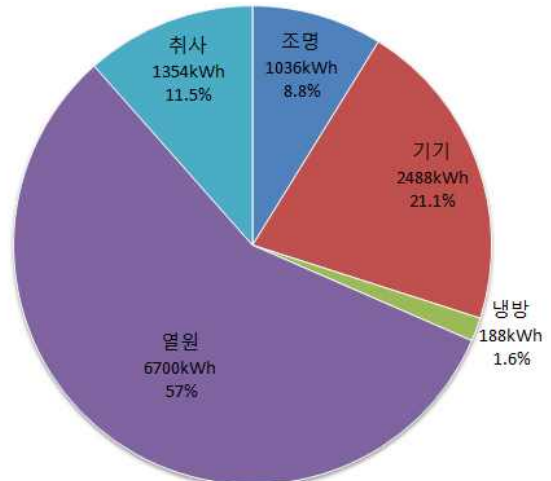


그림 3. 기본형 모델 시뮬레이션 근거 에너지 소비량 (kWh)

4. 공동주택 에너지 저감 설계요건 분석

4.1 공동주택 에너지 저감 건축설계 요건 도출

국내에 현존하는 공동주택 에너지효율등급 인증제도를 살펴보면 난방 에너지의 절감율만을 평가하고 있다. 공동주택에서의 에너지효율등급 평가기준은 표 4와 같다. 인증서에 나와 있는 분야별 평가결과는 단위면적당 난방에너지소요량과 단위면적당 이산화탄소 배출량 및 총 에너지 절감율로 크게 세 가지 부분으로 나누어진다.

표 4. 공동주택 에너지 효율 인증등급과 평가기준

등급	신축 공동주택 에너지 절감율
1	40% 이상
2	30% 이상 40% 미만
3	20% 이상 30% 미만
4	10% 이상 20% 미만
5	0% 이상 10% 미만

출처. 2010. 건축물의 에너지 절약 설계기준 해설서, 에너지 관리공단

본 연구에서는, 이 기준에 근거하여, 건축설계상 패시브 및 액티브 요소들에 따른 에너지 부하 평가를 주로 난방 에너지 절감율을 기준으로 비교 평가하였다. 한편, 벽체와 창호의 단열 성능은 여러 문헌을 통하여 그 중요성이 보편적으로 인정되는 에너지 저감형 주택의 주요 설계인자이다. 2008년 개정된 현행 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’을 보면 ‘지역별 건축물 부위 열관류율표’에 이러한 건물외피에 대한 단열기준이 제시되고 있다. 또한, 기존의 많은 연구에서 인체, 조명, 기기 등에 의한 내부발열과 함께 벽체와 창호의 단열 성능과 침기량이 주택의 중요한 에너지 저감 관련 요건으로 지적되고 있

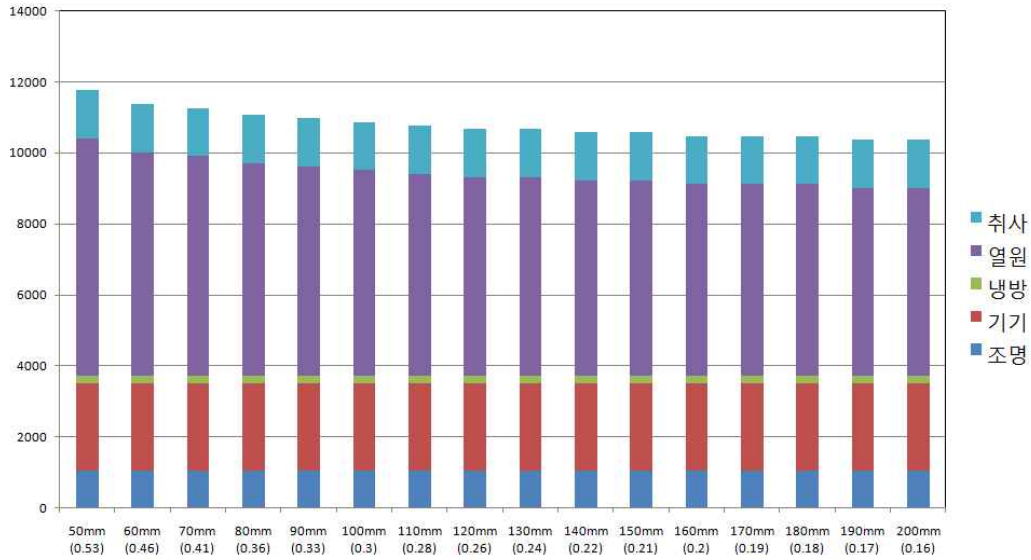


그림 4. 단열재 두께 변화 기반 에너지소비량(kWh) 분석

다[4][5][8][9]. 실제 건설업체에서의 저에너지 공동주택 요소기술 관련 연구에서도 환기를 포함한 침기량, 신소재 단열재의 적용, 단열재 두께 강화, 고성능 창호 및 창호프레임 성능 향상과 같이 주택의 환기 및 침기량과 외피단열성능 개선에 초점을 맞추고 있다.[9] 주택의 대표적 액티브 시스템들 중, 난방과 관련된 보일러와 조명이 주요 고려 대상으로 부각된다. 이는 고효율의 콘덴싱 보일러와, 고효율 조명을 설비영역에 포함시킨 실제 건설사의 에너지 저감형 주택연구 사례에서도 확인되고 있다[7]. 건물 에너지 효율등급인증제도 관련 표준주택 설정기준에서도 평면 및 바닥면적, 장단변 길이, 벽체, 지붕, 바닥의 열관류율, 창호 열관류율, 창면적, 창호 위치, 일사 취득율, 차양 위치, 현관문의 종류, 현관문 단열 성능, 환기율을 포함하고 있으며 이 중에서도 벽체 및 창호단열 성능과 환기율(침기량 포함)이 주된 고려대상임을 확인할 수 있다[10].

4.2 건축설계 요소별 변화에 따른 에너지 부하 평가

1) 단열재 두께 관련 에너지 부하 평가

본 연구에서는 기본형 공동주택 세대 모델에서 에너지 부하에 큰 영향을 주는 단열재 두께를 설계변수로 정하여 에너지 효율성 극대화 방향을 도출하고자 하였다. 본 연구에서는 발포폴리스티렌 계열 중 열전도율이 0.027 (W/mK)인 압출법보온판 특호로 '가' 등급의 단열재를 기본형 모델에 적용한 후, 단열재의 두께를 50mm에서 200mm까지 10mm 단위로 점진적으로 변경한 경우들을 심화모델에 적용하여 에너지 저감성능을 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 심야난방을 포함한 월별 도시가스 사용량은, 동절기의 사용량이 10월에 가장 낮았고, 1월 달에 가장 높았다. 이는, 도시가스를 개별적으로 사용하는 난방기기의 에너지 소비량을 배제한 결과이므로 전기를 사용한 난방에너지는 더 높을 것으로 보인다. 그림 4의 단열재 두께를 매개로 한 민감도 분석에서 단열재의 두께와

단열성능이 증가할수록 열관류율이 감소하고 난방에너지 사용량도 줄어드는 것이 확인되었다. 즉, 단열재 두께 50mm인 선택된 기본형 공동주택 세대의 연간 총 난방 에너지 소비량은 약 6,584 kWh인데 반해 단열재의 두께를 200mm로 증가시킬 경우, 연간 총 난방 에너지 소비량은 약 5,253 kWh로 기본형 대비 약 21%의 에너지 절감율을 보였다. 이는 에너지 효율등급 3에 해당하는 수치이다. 표 5는 단열재 두께 200mm 적용시 월간 난방에너지 소비량을 나타낸다.

표 5. 단열재 두께 200mm 적용시 난방에너지 소비량(kwh)

월	난방에너지 소비량(kwh)
1월	1,500
2월	,1300
3월	1,400
10월	0
11월	200
12월	900
연간 총 난방 에너지 소비량	5,300
에너지 절감율	21%

2) 창호성능관련 에너지 부하 평가

본 연구의 시뮬레이션 대상 창호설정과 관련하여 창호의 물성 중 가장 중요한 U-Value와 G-Value를 에너지설계기준에 제시된 창호의 단열성능과 자재에 근접시키고자 하였다. 이를 위하여, Lawrence Berkeley National Laboratory에서 개발한 Window 6.3 프로그램을 이용해 열적성능과 일사조절 성능이 다른 여러 창호들을 선택/분석하였다(표 6). 본 연구에서는 현재 시판되는 창호의 단열성능향상을 반영하여, 기준보다 실제로는 낮은 열관류율 수치의 창호 대안들을 시뮬레이션에 적용하는 것이 에너지 부하해석에 타당한 로드맵으로 보았다. 표 6에서 처럼 기준모델의 창호를 틸티드복층유리로 보고 Low-E 코팅 유무 및 코팅면수, 아르곤 가스 채입여부 및 다중유

리 사용여부 등에 따라 5가지의 비교대상 창호를 설정하고, 그림 5에서처럼 TRNSYS 입력과정을 거쳐 각각의 대안들에 대한 에너지 성능 평가를 수행하였다.

표 6. 시뮬레이션 대상 창호 대안별 성능비교

창호 종류	열관류율	SHGC
Tinted 복층유리(6/12/6mm)	2.742	0.491
Low-E Tinted 복층유리(6/6/6mm)	2.339	0.304
아르곤 반사복층유리(6/12/6mm)	2.072	0.17
아르곤 Low-E복층유리(3/12/3mm)	1.482	0.647
Low-E아르곤삼중유리(3/12/3/12/3mm)	1.062	0.576
2면Low-E아르곤삼중유리(3/12/3/12/3mm)	0.772	0.471

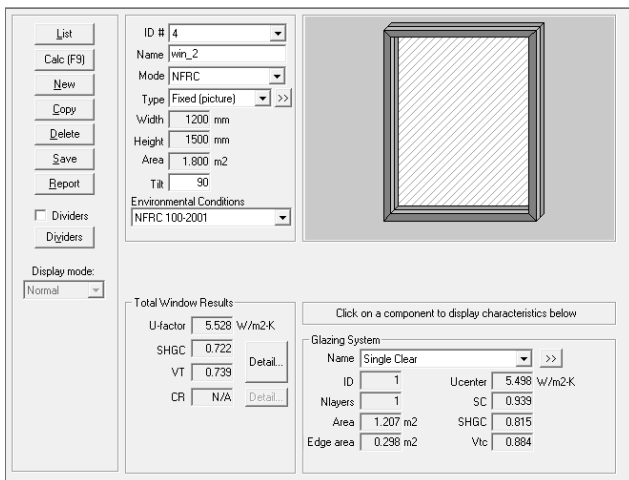


그림 5. TRNSYS 시뮬레이션을 위한 창호대안 입력창

시뮬레이션 결과에서, 기준세대 모델의 창호 대비 아르곤 Low-E 아르곤 복층유리의 연간 에너지 절감율을 보면 표 7과 그림 6에서처럼, 특히, 난방에너지의 큰 저감 효과에 힘입어, 약 25%의 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났다. 이는 창호의 단열효과가 높아지면서 동절기 열손실이 대폭적으로 줄어드는 현상에 기인한 것으로 판단된다.

표 7. 창호 대안별 연중 에너지 저감효과 비교[kWh]

분류/U value/SHGC	*2.742/ 0.491	*2.339/ 0.304	*2.072/ 0.17	*1.482/ 0.647	*1.062/ 0.576	*0.772/ 0.471
조명	1036	1036	1036	1036	1036	1036
기기	2488	2488	2488	2488	2488	2488
냉방	188	151	128	249	227	194
열원	6700	7500	8600	3700	3900	4200
취사	1354	1354	1354	1354	1354	1354
합계	11766	12529	13606	8827	9005	9272
절감량[%]	100.0	106.5	115.6	75.0	76.5	78.8

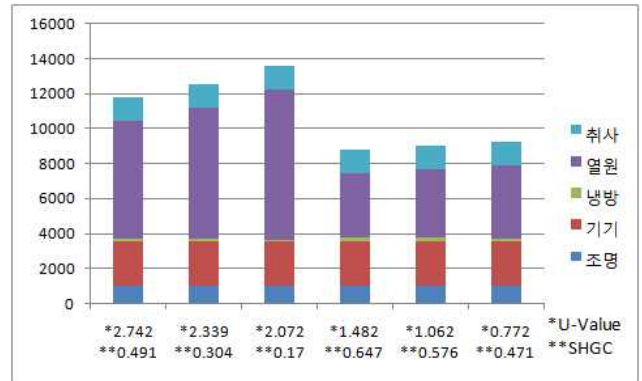


그림 6. 창호 열관류율/SHGC 기반 에너지소비량(kWh) 분석

3) 침기량 변화관련 에너지 부하 평가

공동주택의 침기량은 건물 외피의 틈새를 통하여 실내로 유입되는 침입외기의 단위 시간당 체적을 말한다. 이는, 거주자의 호흡과 관련하여 CO₂의 농도제어를 위해 필요한 최소 외기량과 같은 값이다. 최근 새집증후군이나 실내공기질 문제가 대두되기 시작하면서 공동주택의 경우, 최소 침기량을 시간당 0.5 ACH로 규정하고 있으며 0.7 ACH를 권장하고 있다. 본 연구에서는 공동주택 기준 모델 세대의 침기량을 실내공기질의 권장 값인 0.7 ACH로 정하였으며, 거주자의 최소 외기량인 0.3ACH와 규정치인 0.5 ACH를 포함하여, 그림 7처럼 침기량에 따른 난방에너지 소비량 변화를 비교분석 하였다. 분석결과에 따르면, 0.7ACH를 기준으로 0.6ACH(90.6%), 0.5ACH(82.9%), 0.4ACH(75.2%), 0.3ACH(67.5%), 0.2ACH(62.3%), 0.1ACH(57.3%)로 침기량을 최소화하면 난방 에너지를 대폭 절감할 수 있다. 한편, 환기나 누기를 통한 열손실을 최소화하려면 향후에는 초기밀 시공과 배열회수 시스템을 강화해야 할 것이다.

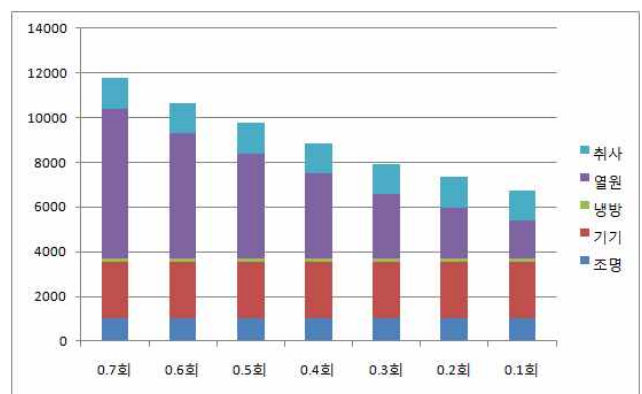


그림 7. 침기량 변화에 따른 에너지소비량(kWh) 분석

4.3 액티브 건축설계 변수에 따른 에너지 부하 평가

본 연구에서는 선택된 공동주택 기본세대의 패시브 건축설계변수의 변화에 따른 에너지 저감율 외에 난방에 영향을 미치는 기본 설비에 따른 에너지 부하량을 계산하여 기본형의 경우와 비교 분석하였다. 이 때, 공동주택 세대내 대표적 설비인 가스보일러와 조명기기 중 인준된

제품을 에너지 소비효율 등급표시제도에 따라 1등급에서 5등급까지 다섯 등급으로 나누었다. 그 다음, 에너지절약 효율의 상하한선인 1등급과 5등급 제품의 에너지 소비량을 대비하여 에너지 절감율을 분석하였다.

1) 가스 난방보일러에 따른 에너지 부하 평가

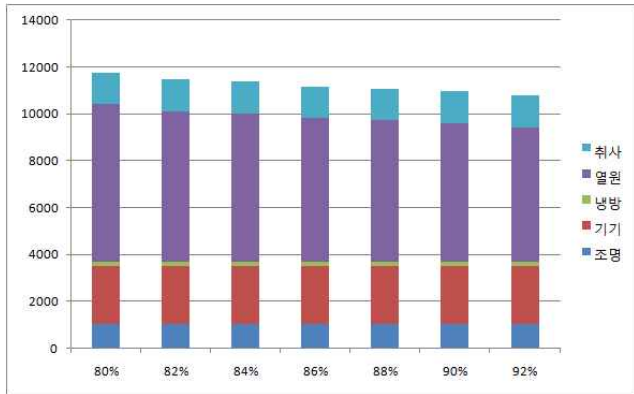


그림 8. 효율등급별 가스보일러의 에너지소비량(kWh) 분석

난방설비로 가장 많이 쓰이고 있는 가스 난방보일러는 에너지부하에 가장 큰 영향을 끼치는 설비 중 하나이다. 에너지관리공단에서 인증을 받은 가스 난방보일러를 에너지효율등급별로 비교한 결과, 5등급(80%효율)과 1등급(92%효율)은 8.5%에 달하는 상당한 난방에너지절감효과가 있는 것으로 분석되었다(그림 8).

2) 조명 기기에 따른 에너지 부하 평가

본 연구에서는 선택된 공동주택 기본형 세대에서 사용 가능한 형광램프 목록에 포함된 739 제품 중 표 8에 제시한 10개 제품들을 선정하였다. 그 다음, 한국 KS조도기준을 기반으로 한 조명설계 후, 5개의 등급으로 나누어 각 조명기기 대안들에 대한 에너지 저감성능을 비교 분석하였다. 그림 9는 효율 5등급 조명기기의 에너지 소비 프로필을 조명밀도에 기반하여 분석한 결과이다.

표 8. 주거 실내용 형광램프의 등급별 효율

형태	소비전력 (W)	광효율(lm/W)	등급
직관형	17.0	59.76	5
직관형	17.4	59.60	5
직관형	40.0	86.22	4
직관형	36.2	86.19	4
직관형	40.1	89.25	3
직관형	40.3	89.40	3
직관형	27.0	95.81	2
직관형	32.9	94.41	2
직관형	27.6	97.43	1
직관형	28.8	97.78	1

한편, 그림 9에서처럼, 조명 밀도가 3W/m²인 경우, 조명 자체에 소요되는 전력 1036 kwh, 냉방 에너지 188

kwh, 난방 에너지 6700kwh에서 1.5W/m²로 변경하는 경우에는 조명소요전력 520 kwh, 냉방 에너지 185 kwh, 난방 에너지 6800 kwh로 전체 에너지 절감효과는 약 3.6%로 나타났다.

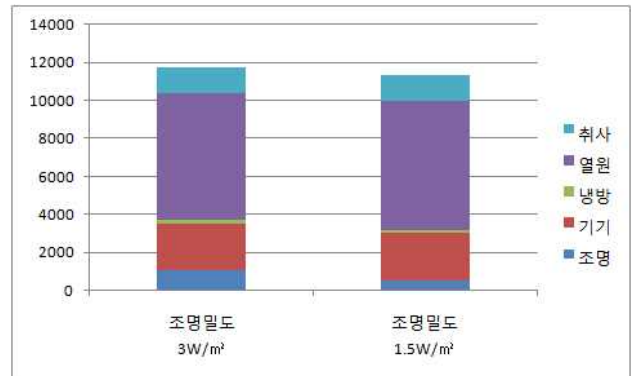


그림 9. 밀도별 5등급 조명기기의 에너지소비량(kWh) 분석

3) 총체적 에너지 저감율 분석

그림10에서처럼 TRNSYS 시뮬레이터를 이용한 상기 분석들을 통하여 밝혀진 최고의 에너지 저감 가능 패시브 및 액티브 설계 요소들을 모두 적용 시, 가상의 그린홈 공동주택에서 사용하는 연간 에너지 기준사용량은 기본세대 모델 11,766kWh에서 5,465kWh로 약 53.6%의 에너지 절감이 가능한 것으로 분석되었다.

이를 성분별로 살펴보면, 난방에너지가 6,700kWh에서 800kWh로 가장 많은 부분의 절감효과를 보이고 있지만, 상대적으로 냉방에너지 사용량은 188kWh에서 303kWh로 증가하는 것으로 나타났다. 이는 에너지 절감량을 기준으로 적용한 기술 중 창호의 일사획득계수(SHGC) 값이 상대적으로 높은 창호를 적용했기 때문으로 판단된다. 일사획득계수가 높으면 태양복사에너지가 건물에 많이 유입됨으로 난방에는 유리하지만 냉방에는 상대적으로 불리한 단점을 가지고 있다.

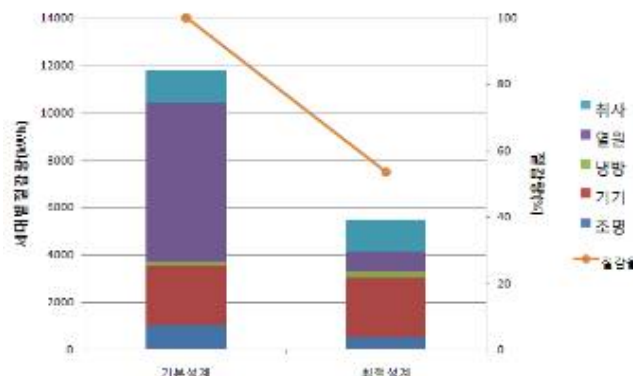


그림 10. 최선의 대안들 조합시 이론상의 에너지 절감효과

한편, 시뮬레이션을 통해 에너지 저감효과가 있다고 판단된 설계요소들에 대한 생애주기 비용분석(Life Cycle Cost Analysis)은 반드시 필요하다. 즉, 초기 투자비와 운영상의 에너지 저감으로 인한 비용 회수, 시설이나 기기

의 감가상각, 화폐의 가치 절하 등을 모두 고려한 설계대안의 경제성에 대한 평가 없이 에너지 절감 효과가 높은 대안을 쉽게 적용할 수 없다. 다만, 본 연구에서는, 외벽이나 창호의 단열을 증가시키고 침기량을 제한하는 것과 같은 패시브 디자인의 전략들이 조명이나 보일러의 효율을 높이는 액티브 디자인 측면에서의 접근에 비해 에너지 관련 편익이 클 수 있다는 점을 재확인 했다. 이러한 패시브 설계전략 중에서도 기밀성을 제고하고 고성능 창호를 설치하는 것의 중요성이 수치적으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는, 공동주택의 에너지 절감을 위한 주요 설계 요소들을 단열재 두께, 창호의 종류, 침기량 변화, 보일러 효율 및 조명 밀도로 구분하여 TRNSYS를 이용한 에너지 소비량 민감도 분석 평가를 수행하였으며 그 주요 내용은 아래와 같다.

첫째, 기존의 유사 연구들이 최근의 한층 업그레이드된 에너지 성능을 보유한 공동주택 세대 대신 극히 기초적 성능의 가상적 공동주택 세대를 벤치마킹해 온 데 비하여, 본 연구에서는 실제 구축된 에너지 효율 2등급 수준의 그린홈 공동주택 세대 설계안을 기본모델로 주요 설계변경 대안들의 에너지 사용량을 TRNSYS 시뮬레이션을 통해 분석하여 설계대안 개발의 현실화를 꾀하였다.

둘째, 에너지 절감을 위한 패시브 설계요소의 상대적 중요성을 제차 확인하였다. 즉, 단열재 두께변화(50mm->20mm)로 21%, 창호 시스템 변화(일반복층유리->LowE 아르곤 복층유리)로 25%, 침기량 변화(0.7ACH->0.3ACH)로 32.5%의 에너지 절감이 이론상 가능한 것으로 나타났다. 이에 비해 액티브 설계요소인, 보일러 효율 변화(5등급->1등급)의 경우 8.5%, 조명밀도 변화(3W/m²->1.5W/m²)로 3.6%의 에너지 절감효과가 확인되었다.

셋째, 본 연구에서 파악된 설계요소들을 통합적으로 적용하는 경우(침기량은 0.1ACH 적용), 이론상으로는 약 53%의 연간 에너지 소비 저감이 가능한 것으로 분석되었다. 이 수치는 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 기반 각 설계요소별 최대 에너지 저감률의 산술적 합에는 못 미치며, 이는 이들 설계요소들 간의 내적인 물리적 연관성에 의한 상호 간섭적 영향 때문으로 추정되며 이에 대한 보다 면밀한 연구가 필요하다고 판단된다.

넷째, 이러한 결과는 현실적인 제약들과 현재 기술수준, 그리고 무엇보다도 생애주기 비용분석을 통해 에너지 저감 효과가 예상되는 설계 대안들에 대한 보다 면밀한 분석을 필요로 한다.

향후, 보다 세분화된 그린 홈 설계요건들에 대한 분석과, 신재생 에너지 기술의 공동주택 적용성 분석을 통하여, 그린홈 에너지 성능 개선 방향을 제시할 예정이다.

참고문헌

1. 서동구 외 1인(2008), 생태주거단지의 지속가능성 제고를 위한 계획요소-제어요소-평가지표 연계시스템-에너지 계획분야를 중심으로, 한국산업융용학회논문지:제11권 2호, pp.49-58
2. 최정은 외 2인(2008), 지속가능한 개발 관점에서 본 독일 및 네델란드 생태주거단지의 계획요소 및 국내 적용가능성 분석, 대한건축학회 논문집(계획계): 제4권 제2호 통권 42호, pp. 27-34
3. 여현지 외 2인(2010), 국내 건축물 평가 제도간 에너지성능평가방법의 비교를 통한 개선 방향연구, 한국실내디자인학회 발표대회논문집: 제 12권 1호 통권 21호, pp. 227-230
4. 김병수 외 3인(2001), 자립형 주택기본계획안을 위한 시뮬레이션 성능평가, 한국태양에너지학회 논문집: Vol. 21, No. 4, pp.13-20
5. 원종서 외 1인(2007), 저에너지 친환경 공동주택의 적용 기술, 건축-도시연구정보 센터(AURIC) 춘계학술발표 대회 논문집 제 7권 제 1호, 통권 12호, pp. 207-210
6. 백남춘 외 5인(2007), 제로에너지 태양열주택의 실증시험연구, 한국태양에너지 학회 2007 춘계학술발표회 논문집, pp. 48-53
7. 대림산업(2010), 저에너지 공동주택 요소기술 적용방안 및 에너지 저감을 산정에 관한 연구, 친환경건축연구센터연구보고서
8. 김한수 외 2인(2009), 창호 및 단열재 변수에 따른 공동주택 에너지효율등급 평가사례, 대한설비공학회 2009 하계학술발표대회 논문집, pp.706-071
9. 김용식(2002), 건축적 수법을 통한 주택의 에너지 절약방안에 관한 연구, 한국주택학회 논문집, Vol. 13, No.2, pp. 73-78
10. 김치훈 외 3인(2009), 공동주택에서의 창호성능에 따른 건물 에너지 효율등급 평가연구, 한국태양에너지학회 2009 춘계 학술발표대회논문집: Vol 29, No. 1, pp. 291-295
11. 국토해양부 주택토지실(2007), 지역별 주택규모현황
12. 통계청 조사관리국 인구총조사과(20050, 점유형태/가구원수/사용방수별 가구(일반가구)-시군구
13. 통계청 조사관리국 인구총조사과(20050, 주택의 종류/연건평/거주인수별 주택-시군구

투고(접수)일자: 2011년 3월 31일

심사일자: 2011년 4월 8일

게재확정일자: 2011년 7월 27일