

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 27, No. 3, 2007

공동주택의 에너지 자립을 위한 핵심요소기술의 에너지 성능평가

윤종호*, 김병수**

*한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr), **한밭대학교 건축설비공학과(bse-nuril@hanbat.ac.kr)

Energy Performance Evaluation of Zero Energy Technologies for Zero Energy Multi-House

Yoon, Jong-Ho*, Kim, Byoung-Soo**

*Dept. of Architecture, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr),

**Dept. of Building Service Engineering, Hanbat National University(bse-nuril@hanbat.ac.kr)

Abstract

Zero Energy Multi-House(ZeMH) signifies a residential building which can be self sufficient with just new and renewable energy resources without the aid of any existing fossil fuel. For success of ZeMH, various innovative energy technologies including passive and active systems should be well integrated with a systematic design approach. The first step for ZeMH is definitely to minimize the conventional heating and cooling loads over 50% with major energy conservation measure and passive solar features which are mainly related to building design components such as super-insulation, super window, including infiltration and ventilation issues. The purpose of this study is to analyze the thermal effect of various building design components in the early design of ZeMH. The process of the study is presented in the following.

1) selection reference model for simulation 2) verification of reference model with computer simulation program(ESP-r 9.0). 3) analysis of effect according to insulation-thickness, kinds of windows, rate of infiltration, and The simulation results indicate that almost 50% savings of conventional heating load in multi-house can be achieved with the optimum design of building components such as super insulation, super window, infiltration, ventilation.

Keywords : 에너지 자립형 공동주택(Zero Energy Multi-House), 제로에너지(Zero Energy), 초고단열(Super Insulation)

접수일자 : 2007년 8월 20일, 심사완료일자 : 2007년 9월 18일

교신저자 : 김병수(bse-nuril@hanbat.ac.kr)

1. 서론

90년대 들어서는 기존 화석연료를 전혀 사용하지 않고, 건물 자체 내에서 모든 에너지를 생산 소비할 수 있는 100% 에너지 자립형 태양열 건물 (Self-Sufficient Solar Building 또는 Zero Energy Solar Building)이 21세기 건물 에너지 분야의 궁극적 목표가 될 것이라는 점에 인식을 같이하고 각종 신기술의 접목을 통한 요소기술 개발 및 실용화 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 배경 하에 국내에서도 정부출연연구원과 대학 간의 공동으로 3단계의 연구과정을 통해 10년 뒤 모든 에너지를 완전 자립할 수 있는 100% 제로에너지 솔라하우스(ZeSH : Zero Energy Solar House) 개발을 목표로 하는 중장기 계획을 수립하고, 2001년 부터 1단계 연구를 착수하여 2006년 현재 2차에 걸친 난방기 실험에 대한 분석결과 및 에너지 자립을 검증 결과, 당초 수립한 1단계 열부하 자립목표 70%를 초과달성함으로써 제로에너지 주택을 위한 개념전개 및 실질적 시나리오의 타당성을 시뮬레이션 해석과 실험적으로 입증하였다.

본 연구에서는 국내 태양열 주택의 새로운 가능성 및 방향성 제시를 목적으로 그동안 단독주택을 주 대상으로 했던 현재까지의 성공적 연구 경험을 토대로 개념을 확대하여 고층 아파트 건물을 제로에너지화 하기 위해 아파트 건물에 적용할 수 있는 핵심기술들을 분류하고 각각의 기술들에 대한 에너지 절감효과를 정량적으로 분석하여 아파트에 적용할 수 있는 최적의 제로에너지화 기술을 도출하는데 연구의 목적이 있다.

2. 공동주택의 기준모델 선정

2.1 기준모델의 개요

본 연구에서는 에너지 절감량을 예측하기 위한 공동주택의 기준모델은¹⁾ 30평 규모의 판상형으로 선

정하였으며, 최상층, 중간층, 최하층으로 구분하고 중간층을 13개층으로 하여 총 15층으로 하였다. 건물의 방위는 정남향을 기준으로 하였으며, 선행 연구를 참고로 하여 침기량은 0.7회/h, 난방온도 24℃로 설정하였다.²⁾ 인체발열 및 기기의 발열량은 한국에너지기술연구원의 “건물에너지 성능평가에 따른 에너지 인증기준 설정연구”에서 제시한 식에서 각각 135W, 3W/m²의 값을 적용하였다.

표 1. 기준모델의 부위별 열관류율

부위	단열재 두께(mm)	열관류율(W/m ² ·K)
외 벽	60	0.47
층 벽	60	0.50
지 붕	60	0.45
바닥(지면접합)	50	0.44
슬라브	20	0.95
발코니창		2.7
외부창		2.7

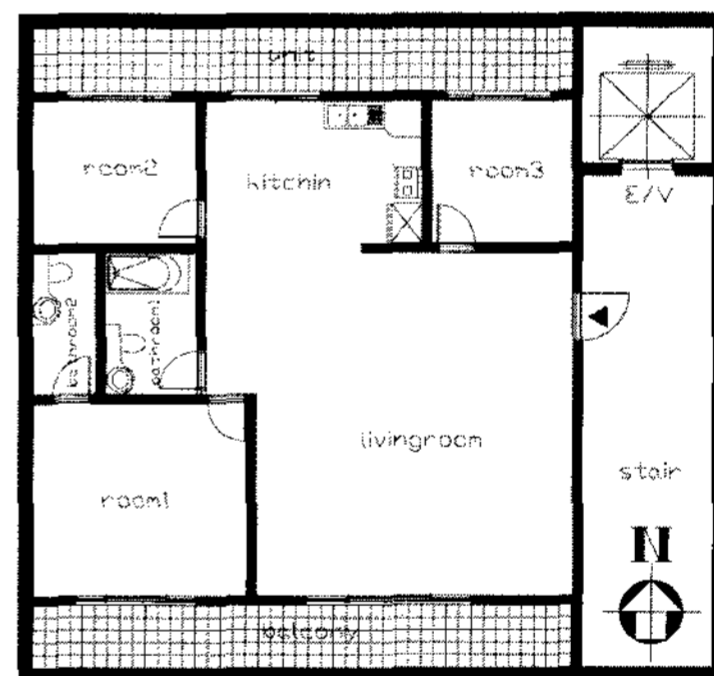


그림 1. 공동주택 단위세대 평면도

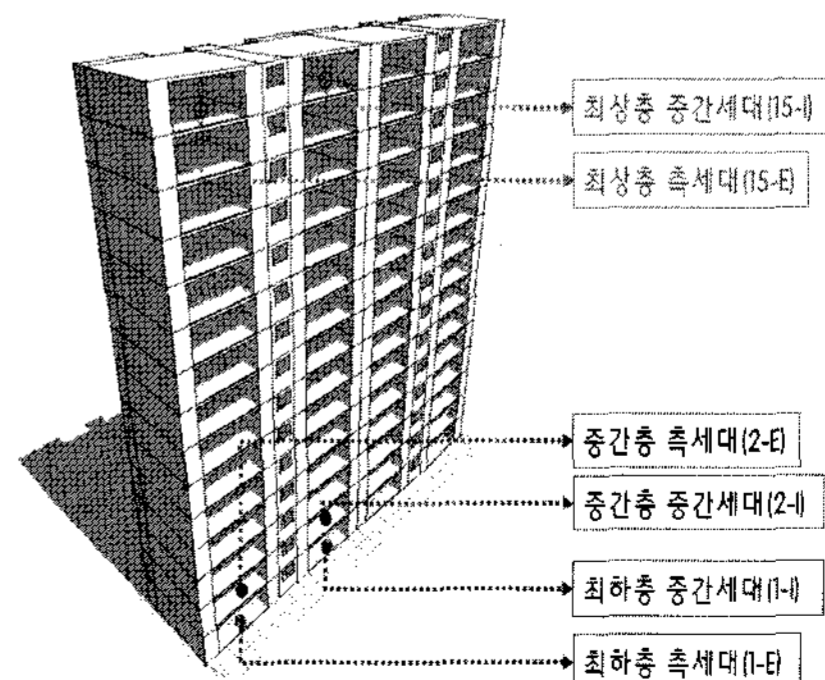


그림 2. 세대위치별 시뮬레이션 해석조건

표 2. 기준모델의 실별 특징

실명	면적 (m ²)	부피 (m ³)	창면적 (m ²)	벽면적 (m ²)	난방 유무
주거공간	94.6	255.0	16.3	304.0	○
주방	12	32.4	2.5	61.8	○
발코니	23.4	63.2	43.2	83.5	×
다용도실	15.6	42.1	13.2	94.7	×
계단 / 엘리베이터실	21.1/ 5.67	57.0/ 15.6	1.08/ 0	102.0/ 37.4	×

2.2 기준모델의 시뮬레이션 분석

분석 프로그램은 동적열해석 프로그램인 Esp-r 10을 이용하였으며, 이 프로그램에 대한 정확성 분석은 이미 국내의 연구논문³⁾⁴⁾을 통해 발표된 바 있다. 기상데이터는 서울 30년 평균기상 데이터를 이용하였다.

기준모델의 분석결과 세대별 평균 단위면적당 111.84kWh/m²yr로 선행연구 결과인 146kWh/m²yr과 약 14%의 오차가 있지만 열원기기의 에너지 변환효율과 하절기(6,7,8,9월) 부하패턴을 고려할 때 14%의 오차는 유의성이 있는 결과로 사료된다.

세대별 연간 에너지 소비량을 비교해보면, 지붕과 측벽에 면한 세대(15-E, 그림 2 참조)가 난방 에너지가 연간 13949kWh(130.85kWh/m²yr)로 가장 크게 나타났으며, 중간세대(15-E)는 9311kWh(97.34kWh/m²yr)로 가장 적게 나타났다. 이것은 외기에 면한 외피면적의 크기와 관련이 있는 결과로 분석되었으며, 세대별 최대와 최소난방부하의 비율은 약 33%정도로 부하의 차이가 큰 것으로 나타났다.

3. 공동주택의 에너지 자립기술별 에너지 성능분석

3.1 슈퍼단열의 에너지 성능분석

우리나라의 주거용 건물은 냉방에너지보다 난방 에너지의 소비가 큰 난방위주의 주거문화이다. 공동주택은 단독주택에 비해 전체적으로 외벽의 면

적이 작지만, 지하층, 측벽, 지붕층에 면한 세대는 큰 외피면적을 가지고 있어 난방에너지 소비가 큰 원인이 되고 있다.

본 절에서는 단독주택의 슈퍼단열의 에너지 성능분석의 결과를 바탕으로 공동주택의 외벽에 슈퍼단열을 적용하여 분석하였다. 슈퍼단열이란 현재 시공되는 단열재의 두께인 50mm보다 200mm이상 대폭 개선된 것으로 열관류율이 0.15W/m²°C이하인 것을 의미한다. 본 연구에서는 슈퍼단열의 효과를 분석하기 위해 기준모델의 단열재인 50mm부터 100mm, 200mm, 250mm로 증가시켜 단열재의 두께에 따른 난방에너지를 분석하였다.

단열재의 설치위치는 선행연구의 결과⁵⁾ 내단열보다는 외단열이 열적 성능이 우수하지만 본 연구에서는 아파트에 일반적으로 시공되는 형태인 중단열을 적용하였으며, 칸막이벽과 층별 바닥의 단열재의 두께는 상하 난방을 고려하여 슈퍼단열을 적용하지 않았다.

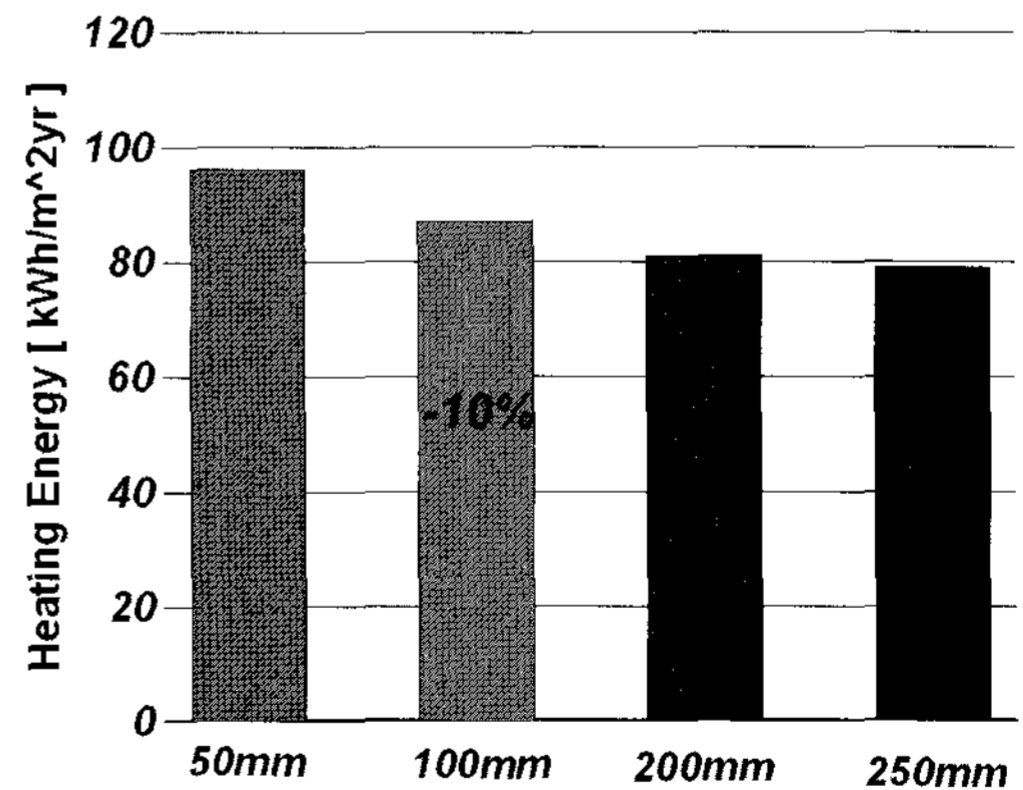


그림 3. 단열재의 두께별 난방에너지 변화

분석결과 단열재의 두께가 50mm일 때 공동주택 단위면적당 평균난방에너지는 111.86kWh/m²yr이었으며, 단열재를 100mm, 200mm, 250mm로 할 경우 15층의 전체의 단위면적당 평균난방에너지는 각각101.52kWh/m²yr, 94.35kWh/m²yr,

92.67kWh/m²yr으로 나타났으며, 50mm 대비 10%, 15.7%, 17.2%의 난방에너지 절감이 있는 것으로 나타났다. 그러나 외피면적에 따라 분석을 달리 할 때 외피면적이 가장 큰 경우(15-E) 단열재의 두께를 50mm에서 250mm로 변경할 경우, 난방에너지는 약 32%정도 감소하는 것으로 나타났다. 외피의 면적변화가 없는 2-E의 경우 단열재의 두께가 50mm에서 250mm로 변할 경우 약 8%의 난방에너지 절감이 있는 것으로 나타났다.

따라서 공동주택의 경우 외피면적이 큰 최상층이나 측벽에 면한 세대의 경우 단열재의 두께가 50mm에서 250mm로 증가 할수록 난방에너지 절감효과는 큰 것으로 나타났으며, 최상층의 경우 최대 32%까지 난방에너지 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

3.2 외기량에 따른 에너지 성능분석

공동주택의 침기량은 시간당 0.3회로 분석되었다. 이 값은 거주자의 호흡과 관련하여 CO₂의 농도제어를 위해 필요한 최소외기량과 거의 같은 값이다. 그러나 최근 새집증후군이나 실내공기질에 대한 관심이 대두되기 시작하면서 공동주택의 경우 최소 침기량을 시간당 0.5회로 규정하고 있으며, 0.7회를 권장하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 시뮬레이션 해석모델의 침기량을 실내공기질의 권장값인 0.7회/h로 정하였으며, 거주자의 최소외기량인 0.3회/h로 변경한 후 난방에너지 소비량을 비교분석하였다.

침기량을 0.3회/h로 조정할 경우 세대평균 연간 사용에너지는 8,711.88kWh(81.725kWh/m²yr)이며, 1.0회/h의 경우 14421.47kWh(135.28 kWh/m²yr)로 나타났다. 기준모델의 침기량인 0.7회/h와 비교할 때, 0.3회/h의 경우 절대난방에너지 절감량은 3211.95kWh(30.13kWh/m²yr)이며, 약 29.6%정도 에너지가 절감되는 것으로 분석되었으며, 1.0회/h의 경우 2497.64kWh(23.43kWh/m²yr)로 20.9%의 난방에너지가 증가하는 것으로

나타났다.

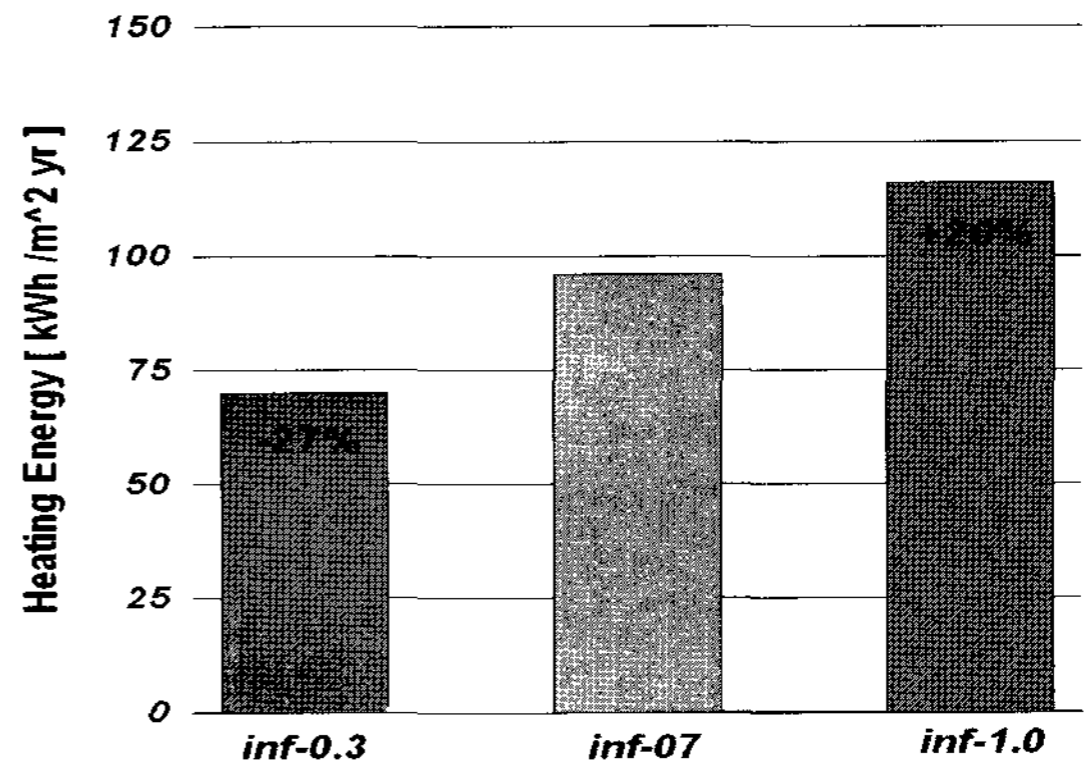


그림 4. 침기량에 따른 난방에너지 변화

공동주택의 침기량 변화에 따라 20%이상의 난방에너지 변화가 있는 것을 고려할 때, 가능한 침기량을 최소화하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 하지만 최근 공동주택의 실내공기질에 관한 규정에 의해 권장 침기량이 0.7회/h와 최소외기량 0.3회/h를 고려할 때 침기량 증가량인 0.4회/h에 해당하는 난방에너지 절감량은 추후 진행될 배열회수 시스템으로 해결해 나가야 할 것으로 사료된다.

3.3 발코니의 유무에 따른 에너지 성능분석

발코니의 확장이 에너지 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 발코니 확장전후의 난방에너지를 비교하였으며, 발코니 확장시 외기와 면하는 창 종류를 2중유리와 3중유리로 변경하여 그 효과에 대해서 분석하였다.

발코니의 확장 시 난방에너지는 발코니가 있는 기준모델과 비교할 때 발코니가 없을 경우 난방에너지 증가는 22kWh/m²yr이며, 이것은 약20%에 해당한다. 또한 발코니가 없는 경우 발코니 창으로 3중로이유리를 설치할 경우 태양복사 투과율이 45%이하로 감소기 때문에 단열성능이 2중유리보다 우수하지만 유입일사량이 낮기 때문에 난

방에너지 소비량이 크게 나타났다. 하지만 본 연구에서는 3중Low-ε유리의 광학데이터로 SHGC 45%이하(Low Solar Gain)인 창호를 선택하였기 때문에 나타나는 현상이므로 추후 광학데이터와 열관류율 성능변화에 따른 종합적인 분석 이루어져야 할 것으로 사료된다.

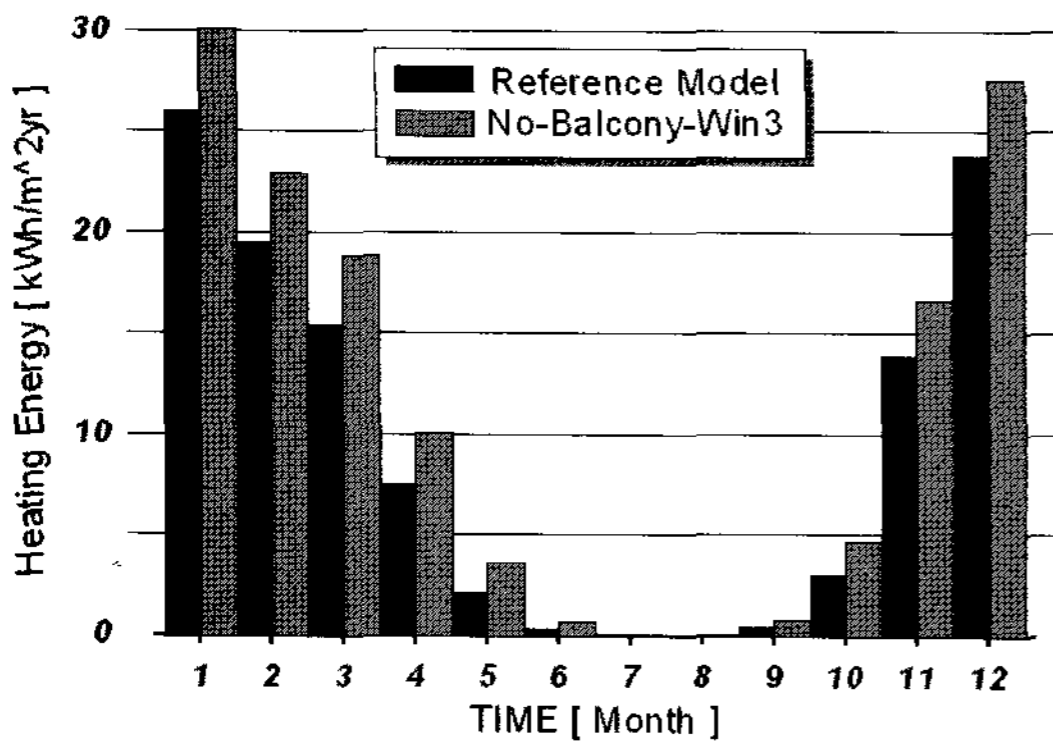


그림 5. 발코니 유무에 따른 난방에너지(3중유리)

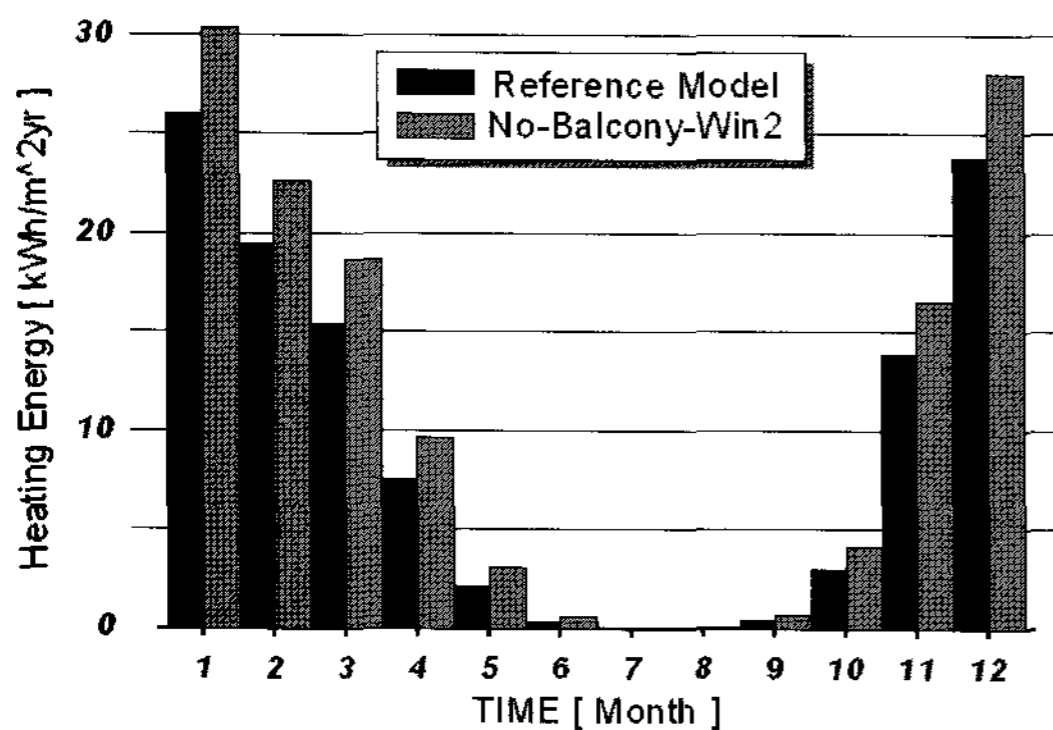


그림 6. 발코니 유무에 따른 난방에너지(2중유리)

4. 요소기술의 통합적용에 대한 에너지 성능평가 결과

4.1 슈퍼단열 250mm와 침기량 0.3회

외벽의 단열재 두께 250mm와 침기량 0.3회를 적용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

세대별 평균 연간 난방에너지 사용량은 5850.50 kWh(55.19kWh/m²)이며, 기준모델과 비교할 때

절대 절감량은 6041.02kWh(56.67kWh/m²)이며, 약 50.66%의 에너지 절감효과가 있다.

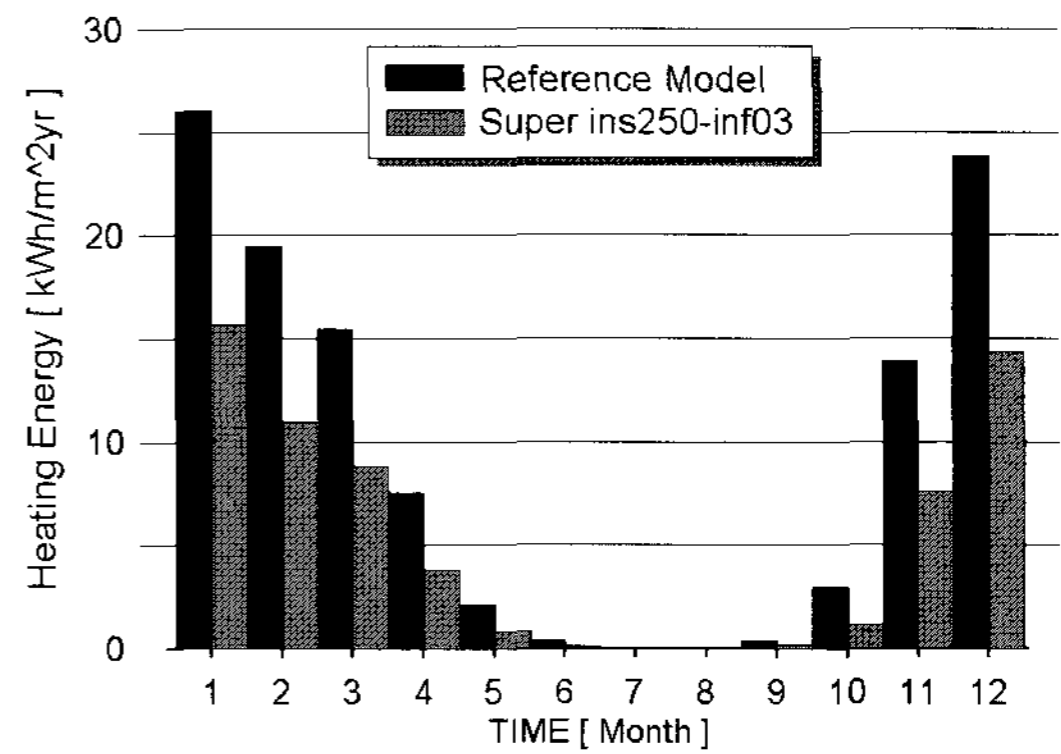


그림 7. 슈퍼단열250mm와 침기량 0.3회

4.2 슈퍼단열 250 + 지붕단열400mm + 침기량 0.3회/h

외벽의 단열재 두께를 250mm, 지붕의 단열재 두께를 400mm로 한 후, 침기량을 0.3회를 적용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

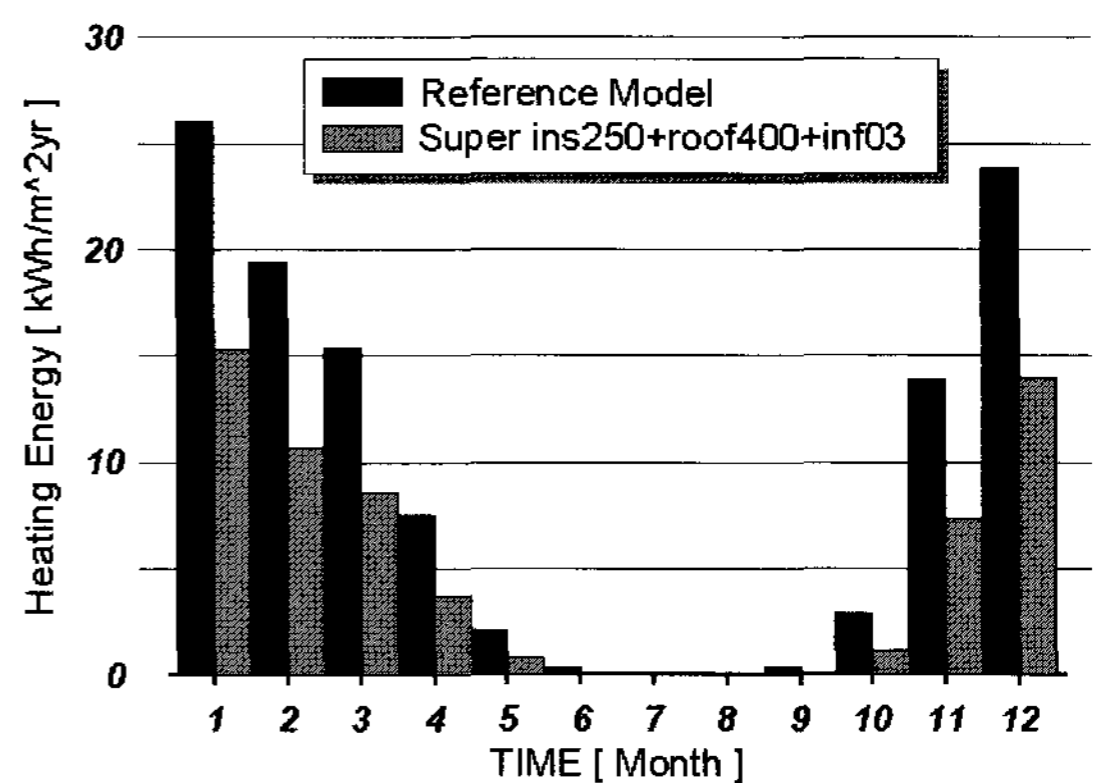


그림 8. 슈퍼단열 250 + 지붕단열400mm + 침기량 0.3회/h

세대별 평균 연간 난방에너지 사용량은 5703.8 kWh(53.81kWh/m²)이며, 기준모델과 비교할 때 절대 절감량은6188.13kWh(58.05kWh/m²)이며, 약 51.89%의 에너지 절감효과가 있다.

4.3 슈퍼단열 + 침기량 0.3회/h + 슈퍼윈도우

슈퍼단열과 침기량 0.1회/h 그리고 슈퍼윈도우를 적용하여 분석한 결과는 다음과 같다.

연간 총 에너지 사용량은 5894.87kWh(55.61 kWh/m²)이며, 기준모델과 비교할 때 절대 절감량은 4241.06kWh(40.01kWh/m²)이며, 약 41.83%의 에너지 절감효과가 있다.

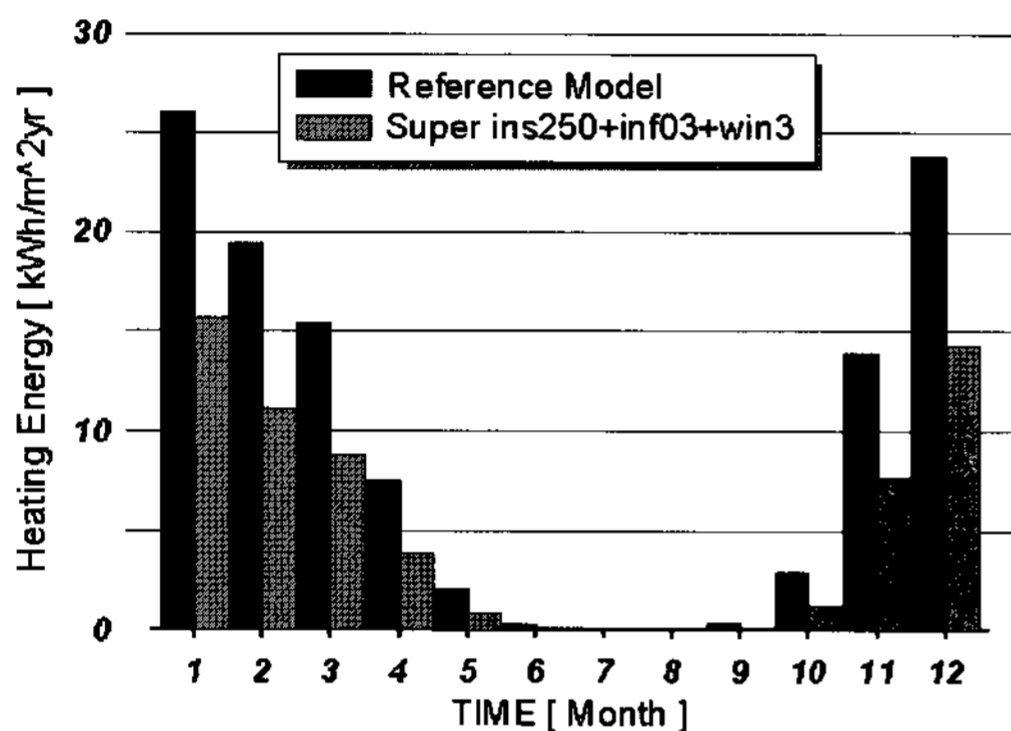


그림 9. 슈퍼단열 + 침기량 0.3회/h + 슈퍼윈도우

5. 결론

본 연구에서는 제로에너지 태양열 주택개발과 관련하여 건축 실무진에 의해 도출된 건축설계 계획안을 대상으로 각종 요소기술에 대한 종합적 에너지 성능평가를 수행하여, 각 설계변수의 최적화를 도모하였으며, 궁극적으로 계획된 설계안을 통해 도출할 수 있는 에너지 자립도를 예측하였다.

최종 제시된 설계안에 대한 각종 성능평가 결과를 요약하면 표 3와 같다. 표에 정리된 바와 같이 일반공동주택을 기준모델로 하여, 핵심 요소기술을 개별적으로 적용한 경우 난방 에너지 절감량 평가 결과와, 이들 요소기술을 조합하여 적용한 통합 적용 해석결과를 절감량 및 절감비율 형태로 제시하였다.

표 3. 제로에너지 공동주택의 적용기술별 난방에너지 소비량 (난방면적 : 106.6m² 기준)

적용기술	총난방에너지		절감량 (kWh/m ²)	절감비율 (%)	
	(kWh)	(kWh/m ²)			
기준모델	11923.83	111.86	0	0	
개별적 적용 해석	단열재	100mm	10822.03	101.52	10.34
		200mm	10057.71	94.35	17.51
		250mm	9878.62	92.67	19.19
	침기량	0.3회/h	8712.42	81.73	30.13
		0.7회/h	11923.83	111.86	0
		1.0회/h	14420.85	118.53	-23.43
	창호시스템	거실창2+발코니창2	11923.83	111.86	0
		거실창2+발코니창3	12571.30	117.93	6.07
		거실창2+발코니창2	11998.30	112.55	-0.69
	발코니	무	2중 유리	14316.52	134.30
3중 유리			14506.48	136.08	-24.22
통합적 적용 해석	슈퍼단열250 + 침기량0.3회/h	5850.50	55.19	56.67	
	슈퍼단열250+지붕400+ 침기량0.3회/h	5703	53.81	58.05	
	슈퍼단열250+ 침기량0.3회/h+win3-2	5894.87	55.61	56.25	

분석결과에 나타난 바와 같이 여러 요소기술 중 절감폭이 가장 큰 것은 침기량으로 나타났으며 침기량을 0.3회/h로 줄일 경우 기존부하대비 약 30%의 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다. 또한 슈퍼단열을 적용할 경우 약 17%의 절감효과를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

핵심기술의 통합적용결과 외벽에 250mm 슈퍼단열과 400mm 지붕의 단열 그리고 침기량을 0.3회로 적용했을때 약 52%의 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

이상의 연구를 통해 공동주택에서도 에너지 절감을 위한 핵심기술을 적용했을 때 50%이상의 에너지 절감이 예측되었으며 이 결과를 바탕으로 보급형 제로에너지 공동주택을 위해 적용가능한 시스템들의 경제성, 시공성에 대한 연구결과를 제시할 예정이다.

후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터육성사업인

한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원으로 수행
되었음 (R11-2005-056-02005-0)

참 고 문 헌

1. 김영탁, "공동주택의 에너지 소비량을 예측하
기 위한 대표일 난방부하모델 개발에 관한 연
구", 대한건축학회논문집 계획계 21권 11호,
2005. 11
2. 최윤정, "아파트 전면발코니의 실내환경 조절
효과 비교연구", 대한건축학회논문집 계획계 21
권 10호, 2005. 10
3. 윤종호, 김병수, 유창균, 백남춘, "KIER 제
로에너지 솔라하우스의 열부하 자립도 성능평가
연구", 한국태양에너지학회 춘계학술발표논문
집, 2002. 05.
4. 윤종호, 김병수, "민감도 분석을 통한 축열벽
시스템의 에너지 성능평가 연구", 대한건축학회
논문집 계획계 22권 2호, 2006. 2
5. 김병수, 윤종호, 백남춘, 이진숙, "자립형 주택
기본계획안을 위한 시뮬레이션 성능평가", 한국태
양에너지학회 논문집, Vol.21, No. 4, 2001.