

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 21, No. 4, 2001

자립형 주택 기본계획안을 위한 시뮬레이션 성능평가

김병수*, 윤종호**, 백남춘***, 이진숙****

* 충남대학교 건축공학과 박사과정

** 한밭대학교 건축공학과 교수

*** 한국에너지기술연구원

**** 충남대학교 건축공학과 교수

The Estimate of Simulation performance for A Master Plan of Self-Sufficient House

B. S. Kim*, J. H. Yoon**, N. C. Baek***, J. S. Lee****

* Graduate school, Chung-nam University

** Department of Architecture, Hanbat University

*** Korea Institute of Energy Research

**** Department of Architecture, Chung-nam University

Abstract

The purpose of this study is to analyze the effect of Super-insulation for self-sufficient house. The process of the study is presented in the following.

1) selection reference model for simulation and verification of reference model with computer simulation program(DOE2.1E and ESP-r 9.0). 2) analysis of effect according to insulation-thickness, installed insulation position, kinds of windows, rate of infiltration, Finally, the results of this study will be to provide the most reasonable method concerned with self-sufficient house.

1. 서 론

현재 세계 각국에서는 화석연료의 사용으로 인한 이상기후에 대한 관심이 고조되고 있다. 또한 우리 나라에서 총에너지 사용량 중에서 최소 30%이상을 주택에서 냉난방용으로 소비하고 있으며, 연료의 사용으로 인한 CO₂의 배출이 큰 문제로 대두되고 있다. 그래서 다른 선진국뿐만 아니라 우리 나라도 건물에서 사용하는 에너지를 최소한 줄이기 위한 연구로 외벽에 대한 단열규제와 합리적인 시공 방법등 여러 방면에서 연구가 진행되어져 왔다. 하지만 현재의 단열규정에 의하면 상당한 양의 냉난방부하가 불가피하게 발생하며, 에너지도 비례적으로 소비되고 있다. 따라서 본 연구는 건축물에 사용되는 난방에너지를 가장 적게 하는 방법으로 단열재의 두께를 200mm이상으로 하는 슈퍼단열의 개념을 정립하고, 그 효과에 대한 분석을 하여, 주택의 에너지 자립화에 있어 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델선정 및 개요

2.1 기본모델의 선정 및 개요

건물의 냉난방부하를 동적열계산방법으로 계산하여 민감도 분석을 할 때 기본모델을 선정하여야 한다. 기본모델은 일반적으로 그 나라의 건축법규나 기후, 거주자의 생활습관 등을 고려하여 선정하는 것이 일반적이다. 하지만 기본모델을 선정하는데 있어 단순히 관련법규나 기후, 생활습관 등에 의해서 결정하면 변수와 에너지와의 관계가 불명확할 경우가 발생하기 때문에 객관적인 자료를 바탕으로 선정되어야 한다.

따라서 본 연구에는 주택의 기본모델을 선정하는데 있어 건축법규에 바탕을 두고 장단면비, 지하실의 유무, 방위, 벽체를 구성하는 단열재의 두께와 침기량, 내부발열 등을 고려하여 객관적인 자료를 바탕으로 선정하였다.

2.2 기본모델의 선정

기본모델을 선정하기 위한 선행작업으로 크게 평면의 장단면비와 바닥에 접한 지하실의 유무와 방위각, 내부발열, 침기량으로 나누어 DOE2.1E와 Esp-r version 9.0프로그램을 이용하여 계산하였으며, 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

2.2.1 건물의 장단면비에 따른 영향

그림 1의 결과에 나타난 바와 같이 건물의 장단면비가 클수록 난방에너지가 적게 소비되는 것으로 나타났다. 하지만 실제 건축 계획상의 평면을 구성하는데 있어 가장 바람직한 장단면비는 1:1.1에서 1:1.3이다. 따라서 본 기본모델의 경우는 에너지소비량과 건축계획 측면을 종합적으로 고려하여 장단면비를 1:1.2로 선정하였다.

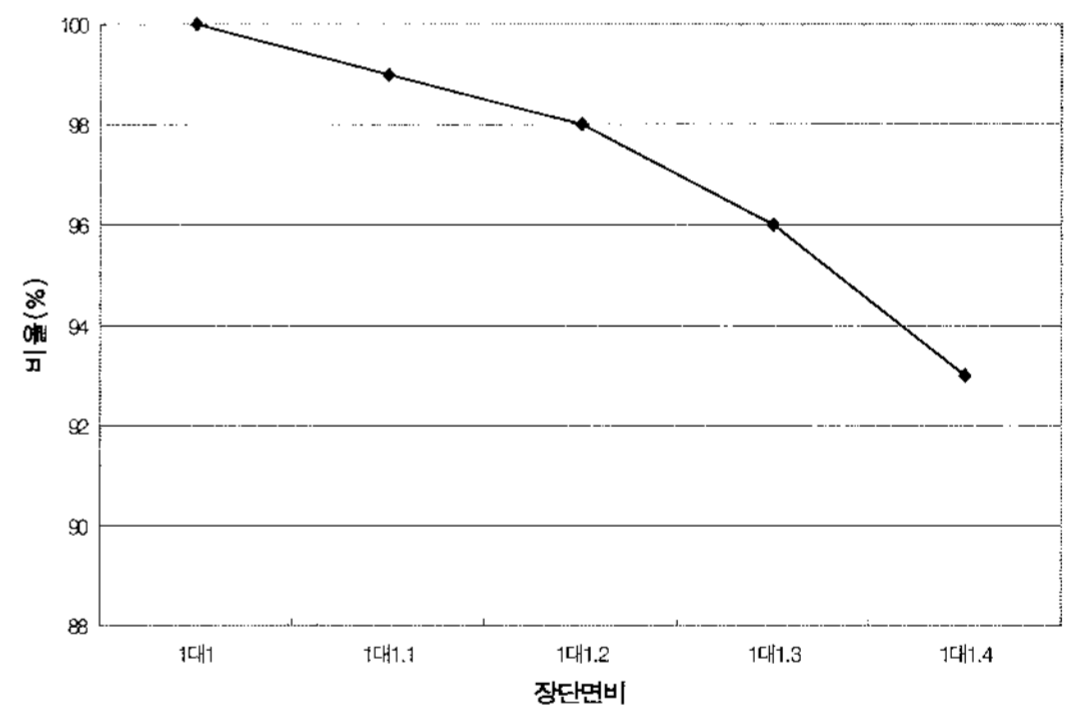


Fig. 1. 건물의 장단면비에 따른 에너지 사용량

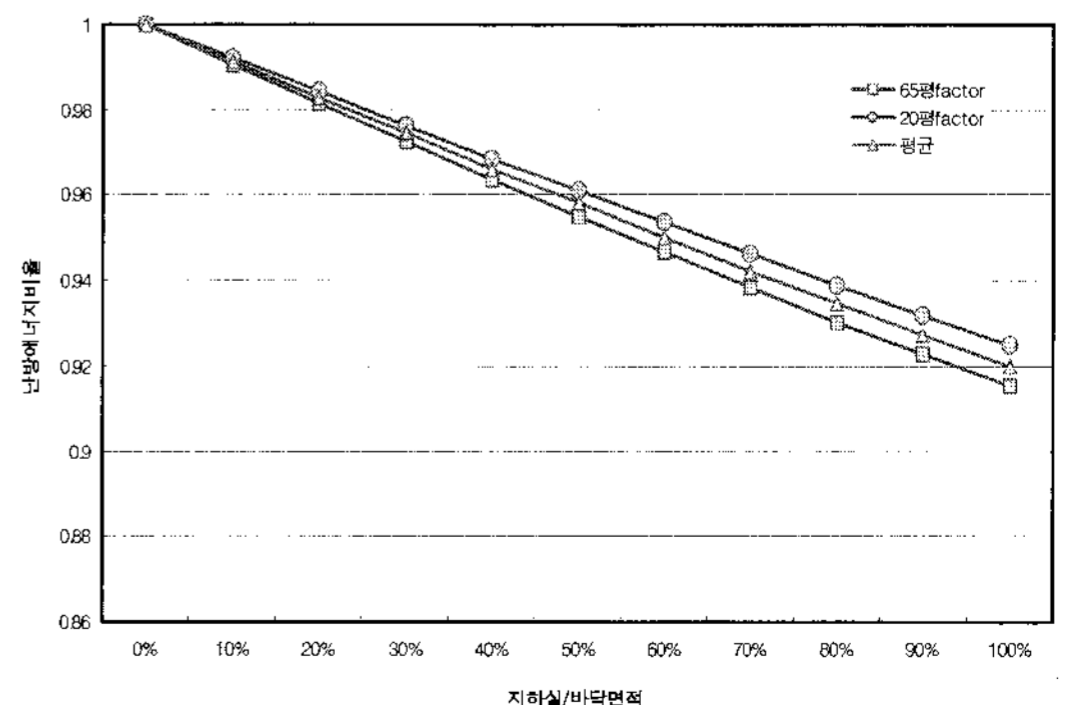


Fig. 2. 지하실 면적에 따른 난방에너지 소비량

2.2.2 건축물의 지하실 유무에 따른 영향

그림 2는 바닥면적과 접한 지하실의 영향을 평가하기 위해 지하실 바닥면적에 대한 슬래브의 면적비의 형태로 변수 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

계산은 우리나라에서 가장 많이 사용하고 있는 바닥형태인 Basement와 Slab-on-grade형태로 나누어 계산하였다. 그 결과 지하실이 없을 때보다 있을 때 그 양이 작지만 난방에너지가 적은 것으로 분석되었다.

2.2.3 건물의 방위각에 따른 영향

그림 3는 건물의 장변이 접한 방향, 즉 방위각에 따른 성능변화 계산결과를 나타낸다. 건물의 방위각은 정남향을 중심으로 동측 및 서측 방향으로 각각 30°, 45°, 60°, 90°로 변화시켜 분석하였다. 해석 결과에 나타난 바와 같이 정남향의 경우가 가장 난방에너지가 적게 나타났으며, 동서로 향하는 각이 클수록 난방에너지 소비량이 크게 나타난다.

한편 정남향을 기준으로 동서측으로 30도 범위 내에서는 건축계획에 따라 방위각을 조정하더라도 허용할 수 있는 수준임을 확인할 수 있으며, 특히 서측 방향 30° 내의 경우는 난방에너지 소비량 측면에서는 정남향과 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다.

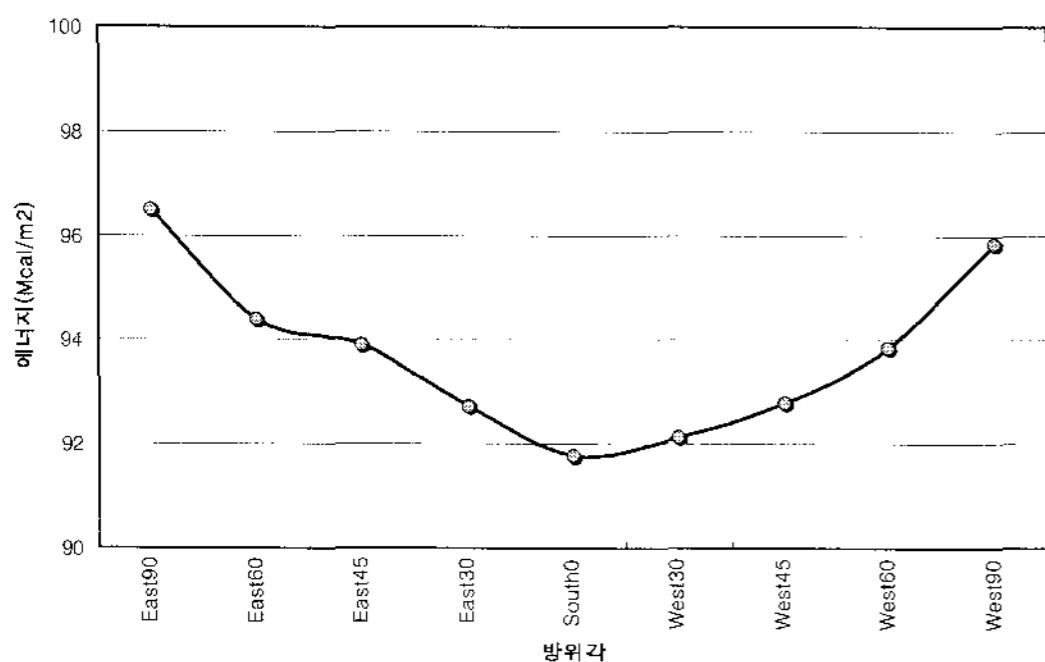


Fig. 3. 기준모델의 건물 방위각 변화에 따른 난방에너지 소비량 비교

2.2.4 내부발열량에 따른 영향

주택내의 인체, 조명, 기기 발열을 통한 내부발생 열량의 규모는 주택의 난방에너지 성능 및 이에 근거한 단열계획, 축열계획 등에 영향을 미치기 때문에 각각 항목에 대한 기준값을 정확히 결정할 필요가 있다. 주거의 유형 및 거주자의 생활패턴, 생활 수준에 따라 내부 발생열 요인은 큰 차이를 나타내기 때문에 이에 대한 공인된 표준값은 제시되어 있지 못하다.

따라서 본 연구에서는 실제 주택 20여 가구에 대해 조명 및 내부 기기의 사용현황을 조사하여, 각 기기의 용량 및 사용패턴을 분석하여 내부 발생열량의 평균값을 산정하였으며, 이 값을 한국에너지기술연구소의 “단독주택 인증제도에 관한연구”에서 제시한 값과 비교하여 큰 오차가 없음을 확인한 후, 표 1에 나타난 값을 시뮬레이션에 적용하였다. 표 1에 나타난 값은 단위면적당 대표값을 표현한 것이며, 실제 동적 시뮬레이션에서는 이 값을 시간별 사용패턴에 기준해 시간별 프로파일로 변환하여 적용하였다.

2.2.5 벽체의 단열재의 두께 및 침기량

일반적 주택을 대표할 수 있는 기준모델의 선정을 위해 본 연구에서는 건축법규상의 권장값을 기준하여 50mm 단열재를 기준치로 선정하였다. 벽체 구성은 현재 주택에 가장 일반적으로 적용되고 있는 콘크리트 또는 조적조를 가정하고, 이에 따른 외벽 및 지붕, 바닥의 최종 열관류율 값은 0.5W/m²°C, 0.5W/m²°C, 0.38W/m²°C이 되도록 구성하였다. 한편 틈새를 통한 자연침기량 (infiltration)은 건물부하에 직접적으로 영향을 미치는 요인으로, 요소기술 적용에 따라 기밀화 시공 및 이에 따른 강제환기 부분과도 연계되는 사항이다. 따라서 기준모델의 침기량은 시간당 0.5회 즉, ACH= 0.5로 가정하였으며, 향후 기밀화 시공에 따른 강제환기량 결정과 관련해서는, 실내 CO₂ 허용농도 0.15%일 때 성인 1인 필요

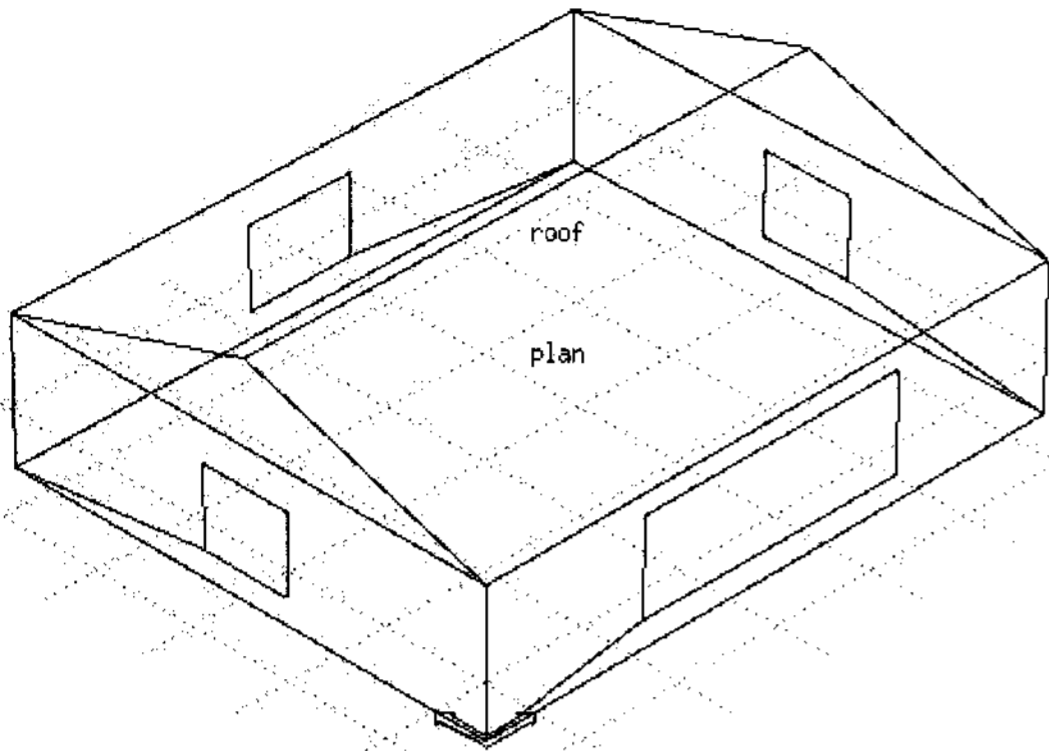


Fig. 4. 기본 계획안의 결정을 위해 수립된 열해석 기본모델

Table 1. 기준모델의 벽체구성 및 내부발열량 기준조건

구 성	단열재의 두께(mm)	기타 구성	열관류율 (W/m ² K)
외 벽	50mm	콘크리트150mm, 단열재(50mm), 시멘트벽돌(50mm)	0.5
지 붓	50mm	콘크리트150mm, 단열재(50mm), 시멘트벽돌(50mm)	0.5
바 닥	50mm	일반흙(250mm), 기초자갈(150mm), 콘크리트150mm, 단열재(50mm), 시멘트(30mm)	0.38
천 정		석고보드(10mm)	1.96
유리창		Double glass	2.9
내부 발열		기기 및 조명 : 2.98W/m ² , 인체 : 3.51명	
침기량		0.5회/h	
방위각		정남향	
바닥면적		35평(115m ²)	
창면적비		남측35%, 동측10%, 서측10%, 북측 10%	

외기량을 25m³/h로 가정하고 실내 재실인원 3.5인을 기준하여 가정하였다. 그림 4는 ESP-r 및 DOE-2.1e를 위해 수립된 1차 해석안의 기본모델을 나타낸 것이다. 해석 초기임을 고려해 재실 공간과 지붕 반자 공간으로 구분된 2zone 문제로 정의하였으며, 자연형 시스템인 부착온실 및 축열벽, 투명단열 등의 시스템이 부착될 경우는 남측면에 1개 존을 더 추가하여 해석을 수행하였다. 표 1은 기본모델에 적용된 외피의 구성 사양 및 기타 내부발열, 침기량 기준값을 나타낸 것이다.

3. 시뮬레이션의 결과

수립된 기준모델의 프로그램간 오차 검증을 위해 동적열해석 프로그램인 DOE2.1E와 Esp-r 9.0을 사용하여 월별 에너지 소비량에 대한 분석 결과를 그림 5에 도식하였다.

DOE-2.1의 경우 연간 난방에너지 소비량이 112.05Mcal/m², ESP-r이 92.17Mcal/m²으로 나타나 약 18%의 오차율을 나타내었다. 이는 각 프로그램의 열해석 알고리즘이 틀리고 입력변수 항목이 정확히 일치하지 않아 나타난 오차로서, 본 연구의 목적인 변수 상호간의 상대적 성능차

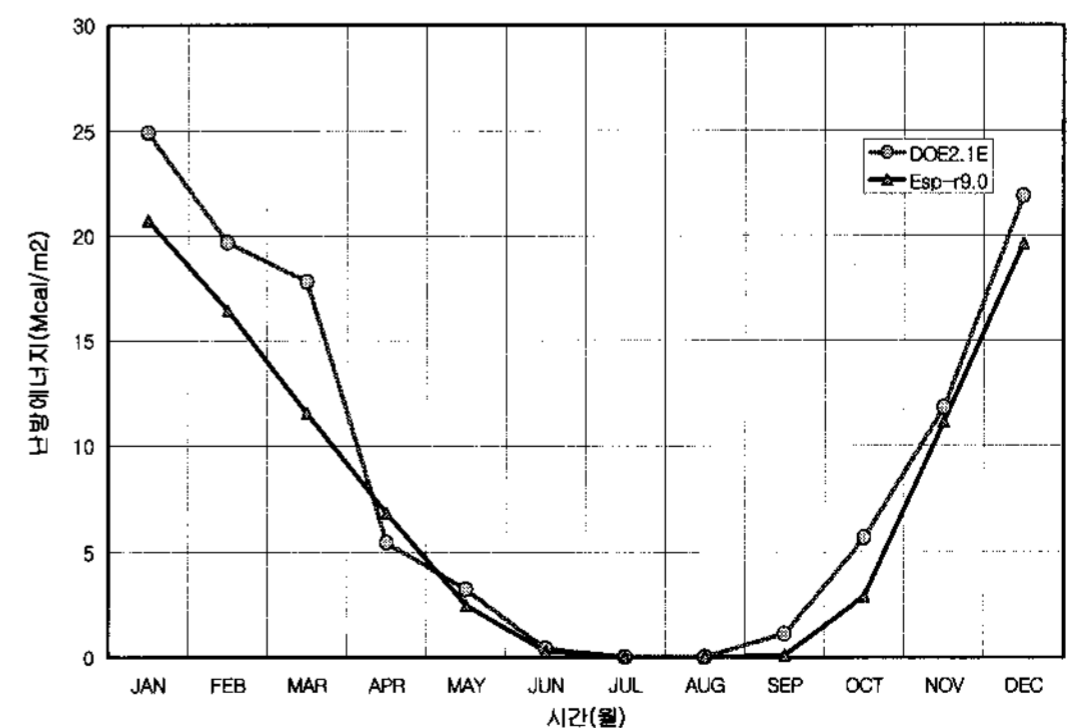


Fig. 5. ESP-r과 DOE2.1을 통한 기준모델의 연간 난방에너지 소비성능 비교

비교 평가의 목적으로는 큰 문제점이 없는 것으로 판단된다.

3.2 슈퍼단열 및 단열두께, 단열위치에 따른 성능비교

슈퍼단열(Super Insulation)에 대한 정확한 용어정의는 아직 수립되지 않았지만, 일반적으로 기존 구조의 50mm 내외 단열재보다 대폭 개선된 200mm 이상의 단열재를 적용하여 열관류율이 1.5 W/m²°C 미만의 성능을 가지며, 각종 열교방지 기술과 기밀화 시공기술을 적용하여 열부하를 대폭 감소시킨 구조를 지칭한다. 본 절에서는 슈퍼단열의 성능효과를 검증하기 위해 단열두께를 50mm, 100mm, 200mm, 300mm에 대해 열성능을 평가하였다.

이 때 각 단열두께에 대한 해석모델의 부위별 열관류율값은 표 3과 같다. 한편 단열재 위치의 적정성 및 축열체의 효과를 평가하기 위해 각 단열두께에 대해 내단열, 중단열, 외단열로 구분하

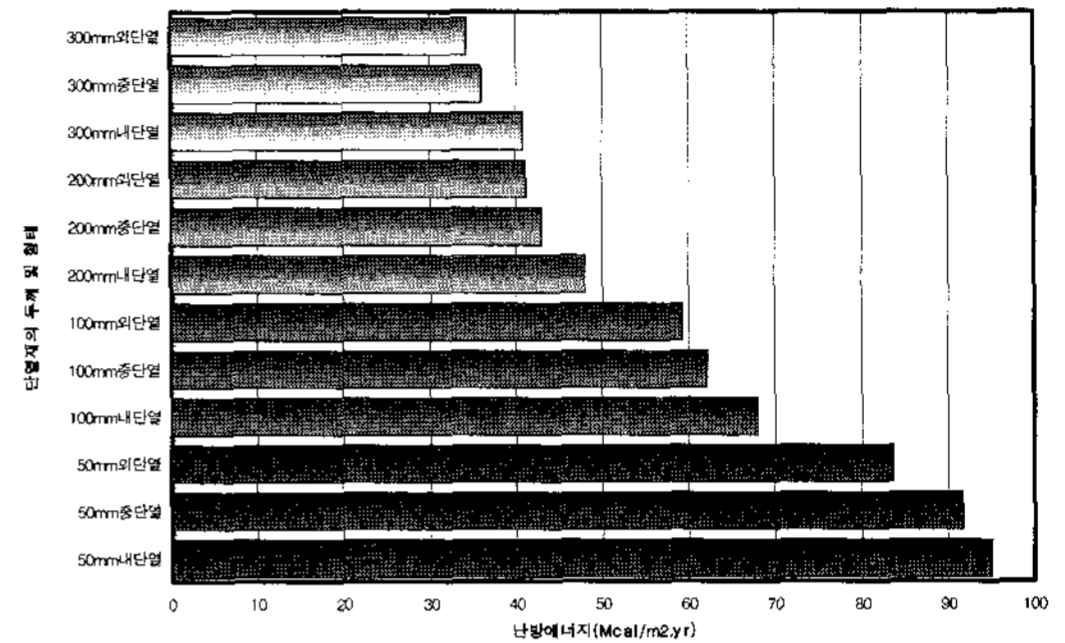


Fig. 6. 슈퍼단열 및 단열재의 위치에 따른 난방 에너지 성능비교

Table 2. 슈퍼단열 및 단열위치에 따른 절감량과 절감비율 효과분석

단열두께 및 단열위치 (mm)	연간 난방에너지			단열위치에 따른 절감량 및 효과		단열두께에 따른 절감량 및 절감효과					
	Mcal/m ²	kWh/m ²	비율 (%)	kWh/m ²	비율	내단열 경우		중단열 경우		외단열 경우	
						kWh/m ²	비율 (%)	kWh/m ²	비율 (%)	kWh/m ²	비율 (%)
50내단열	95.0	110.5	100			●	●				
50중단열	91.8	106.7	97	-3.8	-3			●	●		
50외단열	83.6	97.3	88	-13.2	-12					●	●
10내단열	67.9	78.9	71			-31.6	-29				
100중단열	62.1	72.2	65	-6.7	-9			-34.5	-32		
100외단열	59.3	68.9	62	-10.0	-13					-24.4	-29
200내단열	47.9	55.7	50			-54.7	-50				
200중단열	43.0	50.0	45	-5.7	-10			-56.7	-53		
200외단열	41.1	47.8	43	-7.9	-14					-42.5	-51
300내단열	40.9	47.5	43			-63.0	-57				
300중단열	36.0	41.9	38	-5.7	-12			-64.9	-61		
300외단열	34.2	39.8	36	-7.7	-16					-49.4	-59

Table 3. 단열재 두께에 따른 해석모델의 부위별 열관류율

구분	단열두께	열관류율
외벽	50mm	0.50 W/m ² °C
	100mm	0.27 W/m ² °C
	200mm	0.14 W/m ² °C
	300mm	0.10 W/m ² °C
지붕	50mm	0.49 W/m ² °C
	100mm	0.27 W/m ² °C
	200mm	0.14 W/m ² °C
	300mm	0.10 W/m ² °C
바닥	50mm	0.37 W/m ² °C
	100mm	0.24 W/m ² °C
	200mm	0.13 W/m ² °C
	300mm	0.09 W/m ² °C

여 총 12개의 대안 평가를 수행하였다. 이때 침기(infiltration)의 영향은 배제시키기 위해 침기량 기준값인 시간당 0.5회를 고정시킨 후 해석을 수행하였으며, 그 결과를 그림 6, 그림 7 및 표 2에 정리하였다.

우선 단열재의 설치위치에 따른 난방에너지 절감효과는 모든 단열두께에 대해 외단열, 중단열, 내단열의 순서로 항상 외단열이 가장 우수한 것으로 판명되었다. 일반적인 구조의 단열수준인 50mm 단열의 경우 중단열은 내단열에 비해 약 3%의 개선효과를 보인 반면, 외단열은 약 12%의 절감효과를 나타내었다. 한편 슈퍼단열에 해당하는 단열두께 200mm~300mm의 경우는 절감효과가 더욱 커져 중단열의 경우 약 10~12%, 외단열의 경우 14~16%의 성능개선 효과를 나타내었다. 따라서 슈퍼단열의 경우 단열재의 위치는 가능한 외기측으로 위치시키는 것이 바람직한 것으로 판명되었다. 단열재 두께를 증가시키며 슈퍼단열의 성능을 평가한 결과, 그림 6에 도식한 바와 같이 단열두께 100mm 이하에서는 난방에너지

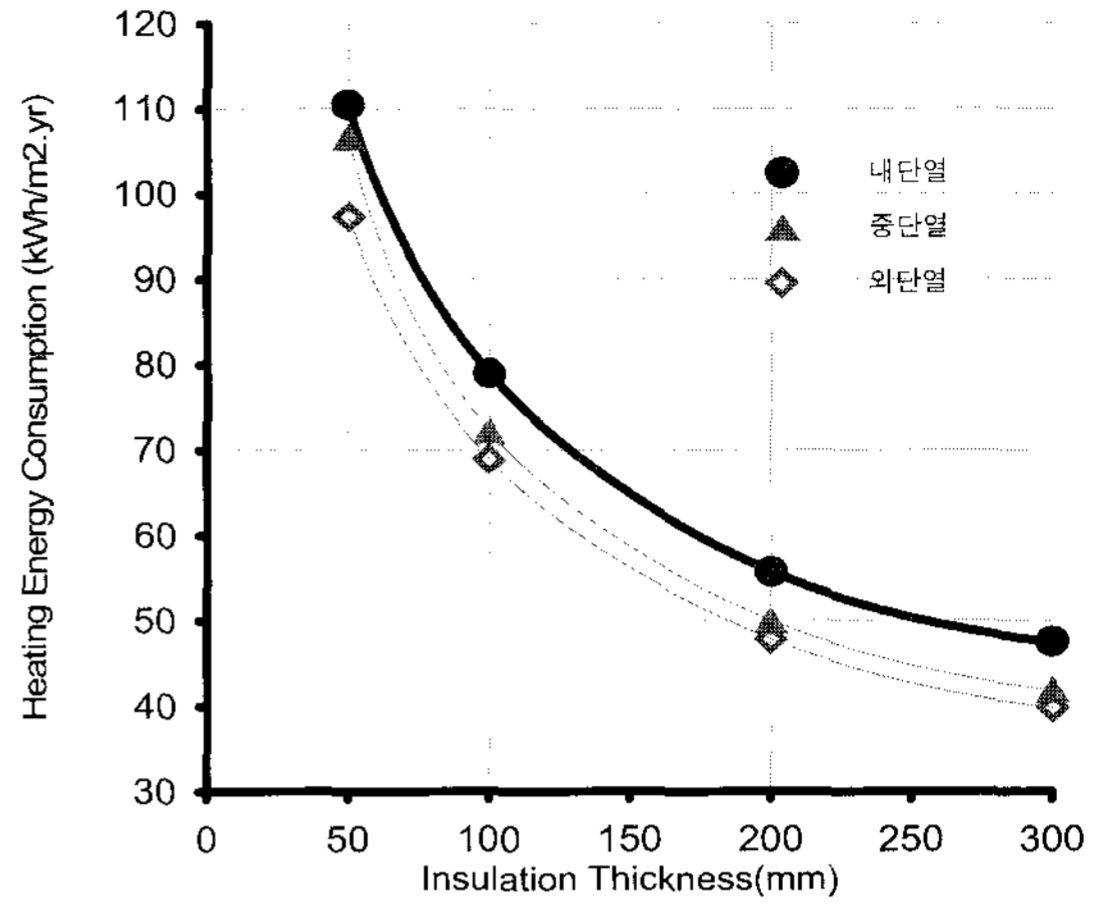


Fig. 7. 단열두께 변화에 따른 난방에너지 절감율

소비량이 크게 절감되는 반면 그 이상의 단열두께에서는 절감폭이 둔화되어 선형관계를 나타내지는 않는다. 현재 대부분의 건축외피에 적용되고 있는 단열두께가 100mm 이하인 이유는 초기투자비의 경제성을 고려하여 절감폭이 상대적으로 큰 100mm 이하에서 두께를 결정하기 때문이다.

슈퍼단열 영역이 짧은 단열두께 영역보다 상대적으로 절감량이 작다 할 지라도 표 2에 분석한 바와 같이 50mm 단열을 기준으로 할 때 100mm의 경우 약 30%, 200mm의 경우 약 52%, 300mm의 경우 약 60%까지 에너지소비량을 절감시킬 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 추진하고 있는 70% 에너지자립 주택을 위한 1단계 전략, 슈퍼단열의 적용효과는 타당한 것으로 입증되었다.

한편 단열두께 증가에 따른 내단열, 중단열, 외단열의 단열재 위치변화 영향은 큰 유의성을 나타내지 않았다. 즉 단열재 두께 증가에 따른 에너지 절감비율이 단열재의 위치에 의해 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

3.3 기밀화 시공에 따른 침기 및 강제환기 부하의 영향

에너지 자립주택의 실현을 위해서는 외피 열저

향을 높이기 위한 슈퍼단열과 각 부재의 접합부위를 통한 침기(infiltration)량을 극소화시키기 위해 기밀화 시공을 병행해 적용한다. 조적조나 콘크리트 건물의 경우 벽체 자체를 통한 침기량은 매우 미소하기 때문에 큰 문제가 되지 않으나, 목조나 스틸하우스와 같은 구조에서는 별도의 방풍층(air barrier)을 설치하기도 한다. 또한 창문이나, 문 등의 개구부와 부재의 접합부위에도 별도의 기밀처리를 적용하게 되며, 창호 자체도 기밀성능이 우수한 것을 적용한다.

슈퍼단열과 함께 기밀화 시공을 적용하면 기존의 일반주택에 비해 자연 침기량이 대폭 감소하게 된다. 한편 사람이 거주하는 실내 공간은 호흡 및 생활패턴에 따라 이산화탄소 및 각종 오염물질의 농도가 증가하기 때문에 주기적으로 신선한 외기를 도입하여 오염공기를 교체해 주어야 한다. 기존의 일반주택은 자연 침기량이 최소 0.3회/hr를 대부분 넘기 때문에 신선외기 도입을 위한 강제환기의 필요성이 크게 대두되지 않아왔다. 그러나 슈퍼단열 및 기밀시공이 적용되는 에너지 자립건물의 경우 침기량의 대폭적인 감소에 따라 강제환기를 통해 신선공기를 도입해야 하며, 도입량에 따라 건물의 난방부하 및 에너지 소비량도 변화하게 된다.

본 절에서는 이러한 강제환기의 영향을 평가하기 위해 앞서 슈퍼단열의 해석모델을 기준으로 환기회수를 시간당 0.5, 0.3, 0.2, 0.1회를 적용하여 난방에너지 성능평가를 수행하였다. 본 주택의 경우 3.5인의 재실자를 가정하였으므로 성인 1인당 최소외기량 25CMH를 가정할 경우 건강환기를 위한 신선외기 도입 필요량은 환기회수로 약 0.3 회/hr에 해당한다.

그림 8의 결과에 나타난 바와 같이 침기량이 0.5회/h에서 0.3회/h로 변화시킬 경우 약 9~15 Mcal/m²yr의 변화를 나타내며, 이는 50mm단열 기준모델 연간 열부하의 약 10~16%에 해당하는 양이다. 300mm 슈퍼단열의 경우 0.3회/h에서 0.1

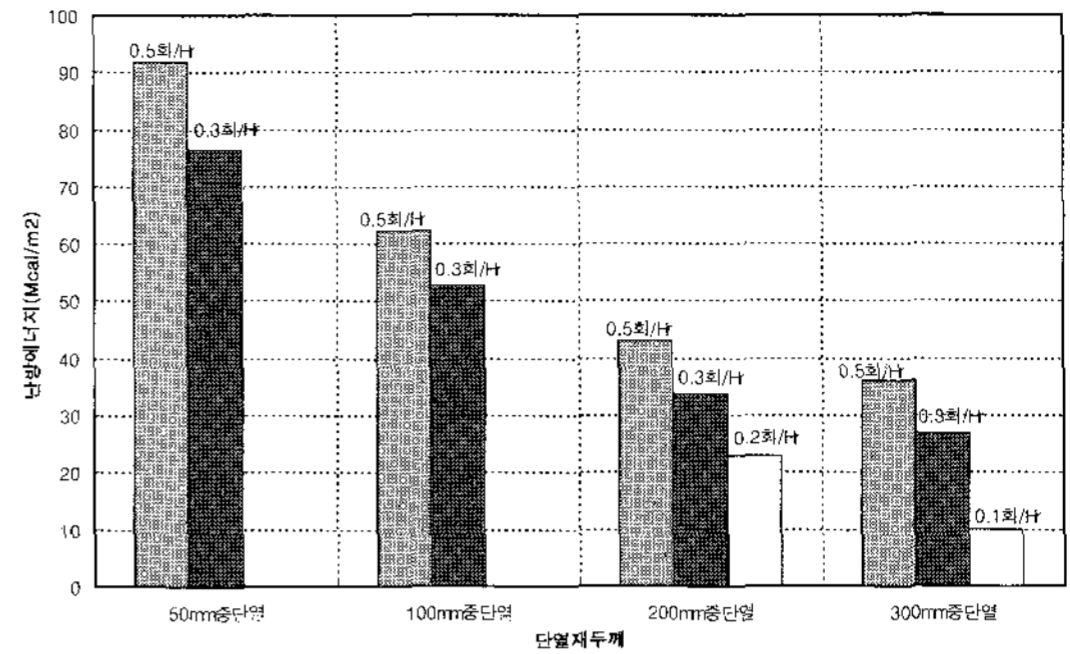


Fig. 8. 단열두께 및 침기량 변화에 따른 난방에너지 소비성능 비교

회/h 변화의 경우 약 16.6Mcal/m²yr의 부하가 감소되며, 이양은 기준모델 부하의 17.5%에 해당한다.

따라서 300mm 슈퍼단열 및 기밀시공을 통해 건물의 침기량이 0.1회/hr로 감소되었다고 가정할 경우 건강환기를 위한 최소 환기량 0.3회/hr를 유지하기 위해서는 약 0.2회/hr의 외기를 도입해야 하며, 이는 50mm 기준모델 총 열부하의 17.5%에 해당함을 의미한다. 신선공기 도입을 목적으로 한 강제환기 외기부하는 배열회수 시스템 또는 히트펌프 시스템을 통해 대부분의 배열을 회수할 예정이다.

3.4 슈퍼윈도우의 적용효과 분석

기준모델의 각 방위별 창면적비는 문헌고찰을 통해 단독주택의 가장 일반적인 창면적비를 적용하였다. 기준해석모델의 경우 법규치에 근거해 열관류율 2.9 W/m²°C의 이중창이 적용되었다. 그러나 70% 에너지 자립 솔라하우스를 실현하기 위해서는 열적 취약부위인 창호의 열저항 성능도 대폭 개선되어야 한다. 따라서 본 절에서는 저방사필름(Low-e film)이 적용된 열관류율 1.35 W/m²°C의 삼중창(Triple Glazing)을 기준모델의 이중창 대신 적용해 그 절감효과를 분석해 그림 9에 도식하였다.

동일 단열두께 조건에서 창호의 성능차에 따른

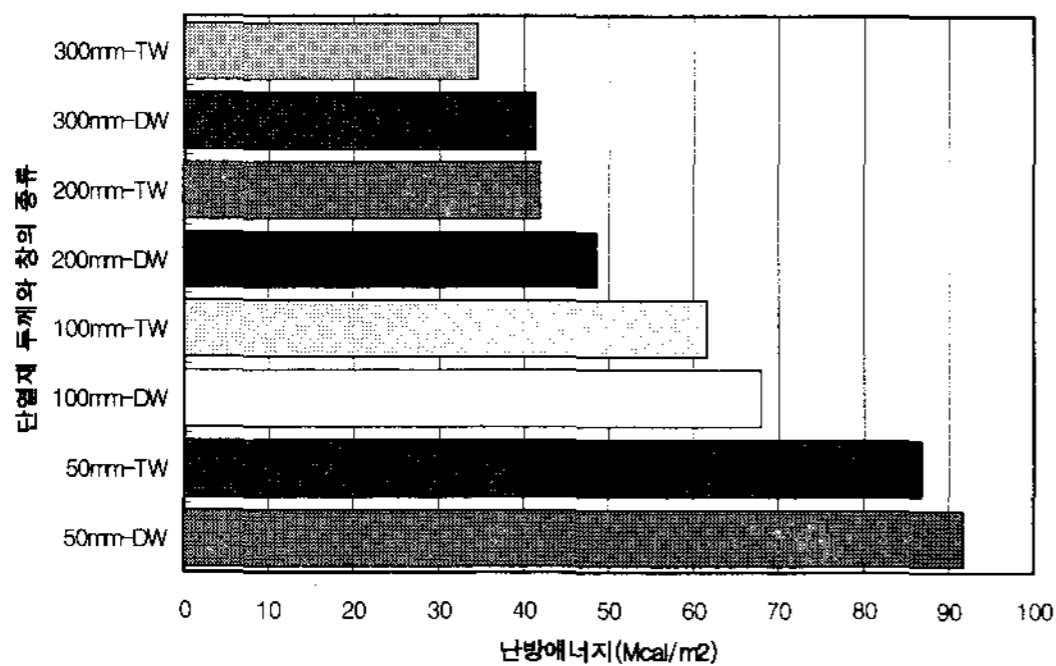


Fig. 9. 슈퍼창의 적용에 따른 연간 난방에너지 성능 변화

연간 난방에너지 소비량 차이는 50mm 단열의 경우 약 7%, 100mm 경우 12%, 200mm 경우 20%, 300mm 경우 26%로 나타났으며, 절대 절감량은 5.1, 6.4, 6.6, 6.8Mcal/m².yr의 차이를 나타내었다.

따라서 삼중창의 적용효과는 50mm 단열의 기준모델 열부하 95Mcal/m².yr를 기준하여 약 7%에 해당하는 양을 절감 가능한 것으로 판정되었다.

4. 결 론

본 절에서는 70% 에너지 자립 솔라하우스의 기본모델 수립을 위한 각종 설계 변수 평가 시뮬레이션을 수행하였다. 설계초기의 매스 결정을 위해 건물 장단변비에 대한 검토가 이루어 졌으며, 지하실의 유무, 지하실의 형태 및 지하실 규모에 따른 에너지 성능 변화를 정량적으로 평가하였다. 또한 건물 방위에 따른 성능 차이를 평가함으로써 건물향의 결정시 유동 가능한 방위각 범위를 확인하였다. 한편 본격적인 부하절감 전략을 적용하기 위한 선행 작업으로 각종 문헌조사 및 사전 시뮬레이션을 통해 현재 일반적으로 시공되고 있는 표준주택의 해석 기준모델을 결정하였다. 이 과정에서 기준모델의 외피구조 상세, 내부발열량 기준 및 침기량 등 다음단계 시뮬레이션을 위한

각종 기준값을 결정하였다.

1. 평가항목인 슈퍼단열의 적용효과 검증을 위한 시뮬레이션 결과 200mm 이상의 단열재를 적용할 경우 본 연구에서 수립한 슈퍼단열을 통한 기본부하 절감량을 충분히 달성할 수 있는 것으로 판정되었다. 또한 이 과정에서 단열재의 위치 즉, 내단열 및 외단열의 성능차이와 내부 축열량의 변화에 따른 성능차이를 규명함으로써 슈퍼단열시 단열재의 적정위치를 도출할 수 있었다.
2. 슈퍼단열 및 기밀화 시공에 따른 강제환기 부하 영향의 평가결과, 현 가정조건 하에서 해석 기준모델 총열부하의 약 17.5%가 외기 부하로 발생할 수 있으며, 이 양을 배열회수 또는 히트펌프 등을 통해 회수해야 함을 확인하였다.
3. 창호를 통한 열손실 억제를 위해 low-e 삼중창을 대체 적용할 경우 기준모델 총열부하의 약 7% 정도를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

참 고 문 헌

1. A.Poel, "Technology Simulation Sets", DAMEN CONSULTANTS, 1994.
2. J.D.Ned Nisson, Gautam Dutt, "The Super-insulation Home book", John Wiley & Sons, 1985.
3. Anne Grete Hestnes, Rovert Hamstings, Bjarne Saxbof, "Solar Energy House", James & James, 1997.
4. University of Strathclyde "The ESP-r system for Building Energy Simulation User Guide Version 9 Series", 2000. 10.
5. 김영호, 박정원 공저, "최신 공기조화설비" 기문당, p20, 1994.