

초에너지절약주택(3리터 하우스)의 설계 및 시공

3리터의 의미는 난방에 소비되는 등유량(Liter/m²·year)을 나타내며, 일반주택대비 80% 이상의 에너지를 절약할 수 있는 주택이다.

원종서

대림산업(주) 기술연구소 환경연구지원팀 (wonjs@daelim.co.kr)

최근 건설업계에서도 기후변화협약 발효와 고유가 지속으로 에너지와 CO₂라는 두 마리 토끼를 동시에 잡아야 하는 상황에 처해 있다. 특히, 우리나라는 국내 에너지소비의 97%를 외국에 의존하고 있고, 건물 분야의 에너지소비는 국가 총에너지 소비의 25% 이상을 차지하고 있으며, 이 중 18%가 주거건물 분야에서 소비되고 있는 실정이다.

본고에서는 주택의 에너지절약 및 효율화를 달성하여 궁극적으로 CO₂를 저감할 수 있는 새로운 수단 및 전략을 모색하기 위해 당사(대림산업)에서 시공 중인 초에너지절약주택(3리터 하우스)을 소개하고자 한다.

3리터 하우스는 유럽전역에 약 8,000 가구가 있으며(그림 1), 현재 건설 중인 가구는 약 3,000 여 세대다.

3리터 하우스의 개념

3리터 하우스의 개념은 연간 난방에 소비되는 등유량(발열량 8,600≐kcal/l)이 3리터(Liter/m²·year) 미만인 주택을 의미하며, 이는 일반주택대비 80% 이상의 난방에너지를 절약할 수 있는 주택을 뜻한다. 우리나라와 독일주택의 거주수준별 에너지 소비량을 비교해 보면 그림 2와 같다.

3리터 하우스는 독일의 패시브하우스의 기술요소를 비용최적화시킨 에너지절약주택으로 통상적인 냉난방설비 없이 겨울과 여름철에 쾌적한 실내환경을 제공하는 것이다. 이를 구현하기 위해서 건물의 최대난방부하는 10 W/m²을 초과해서는 안 되며, 최소 연간난방부하는 15 kWh/(m²a)(약 1.5 Liter/m²·year)이내가 되어야 한다. 이 요건이 성립됐을 때,



[그림 1] 독일의 3리터/1리터 하우스



80% 이상의 에너지를 절감할 수 있게 된다.

한국형 3리터 하우스 구현을 위한 건축요소

3리터 하우스는 ① 자연형 태양열 획득(수퍼창호), ② 고효율폐열회수 환기시스템 ③ 수퍼단열 ④ 고효율 가전기기 ⑤ 신재생에너지 활용 ⑥ 잠열보유플라스터(PCM) ⑦ 이중외피로 총 7가지 기술이 적용되었다. 이 중 ① ② ③은 필수조건이며, ④ ⑤ ⑥ ⑦은 선택조건이 된다(그림 3).

(1) 자연형 태양열 획득(수퍼창호)

3리터 하우스 난방요구량의 1/3은 창을 통한 자연형 태양열 획득에 의해 공급된다. 따라서, 창은 투과율(g-value) 50% 이상, 여름철 과열방지를 위해 개폐 가능 및 차양장치설치, 열관류율 0.8 W/m²K이하로 설계되어야 한다. 이 값을 만족하기 위해서는 3중 Low-e유리를 사용해야 하며, 아르곤 가스충진을 할 경우 열관류율을 0.6 W/m²K까지 낮출 수 있다. 또

한, 창틀의 경우도 열관류율 0.8 W/m²K이하로 설계되어야 한다.

한국형 3리터 하우스에 적용된 창호는 대림산업에서 개발한 52 mm 3중 Low-e유리(건교부 신기술지정)를 적용했으며, 그 세부사항은 그림 4와 같다.

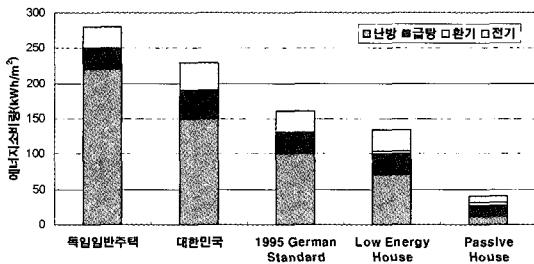
창의 경우는 올바른 시공이 매우 중요하며, 외피단열라인 이내에 설치되되 창틀 주위는 단열재를 중첩하여 열교를 최소화 해야 한다(그림 5).

(2) 고효율폐열회수 환기시스템

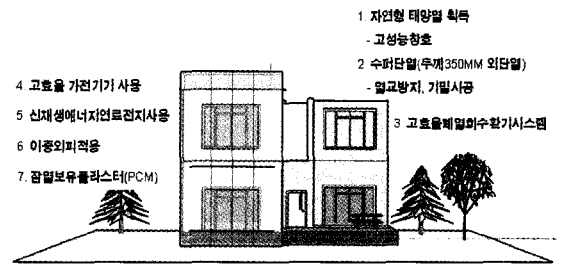
3리터 하우스는 열손실을 최소화하기 위해 매우 기밀 시공되므로 건강한 실내공기환경을 유지하기 위해서 상시소풍량환기시스템의 설치는 필수적이다.

환기시스템의 환기율은 0.25~0.4회/h이며, 이보다 환기율이 커지면 겨울철에 건조공기 유입으로 인해 실내환경이 불쾌적하게 되며, 에너지소비가 커져서 3리터를 달성하기 어렵다.

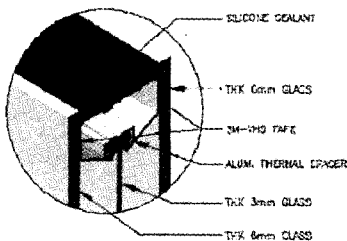
필수요소로 열교환기의 효율(현열)은 75% 이상(당시는 현열 85% 적용) 되어야 하며, 대항류형 열교환



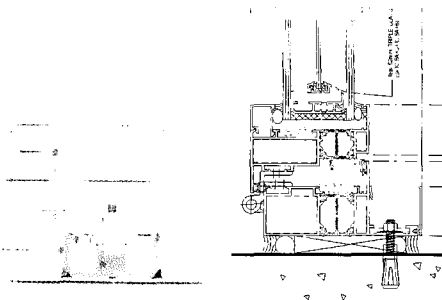
[그림 2] 거주수준별 에너지 소비량



[그림 3] 3리터 하우스의 개념도



유리
시공
이론
이론
이론
이론



[그림 4] 3리터 하우스에 적용된 창호시스템

기가 사용된다. 또한, 환기시스템에 사용되는 모터는 고효율 정류모터(ECM)가 사용되며, 0.4 Wh/m³ 이하를 소비한다.

또한, 외기부하를 줄이기 위한 방법으로 지중덕트(sub-soil duct: 깊이 2 m, 길이 25 m 2EA)를 이용해 외기를 도입하였다.

(3) 수퍼단열(Superinsulation)

3리터하우스의 기본개념은 내부발열과 자연형 태양열 획득을 통해 난방을 하고, 부족한 열량에 대해서만 난방시스템을 통해 공급받는 것을 원칙으로 한다.

따라서, 이를 충족시키기 위해서 열손실을 최소로 하여야 하며 건물외피의 열관류율값은 0.10~0.15 W/(m²K) 범위를 만족시켜야 한다.

열전달에 의한 손실은 일반 건축요소를 통한 열류

뿐만 아니라 우각부나 접합부에 나타나는 열교현상에 통해서 나타나므로, 열교를 통한 열손실은 0.1 W/m 이하로 시공되어야만 한다(그림 5).

또한, 건물외피의 기밀은 매우 중요한 요소 중에 하나로 최대 n50(실내외 압력차 50 Pa ACH)에서 0.6회/h 이하(환기시스템포함)가 되어야 한다.

(4) 고효율가전기기 사용

(5) 신재생에너지 활용

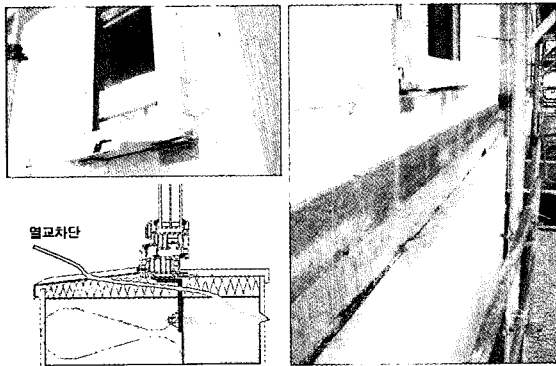
(6) 이중외피적용

(7) 잠열보유플라스터(PCM :상변화물질)

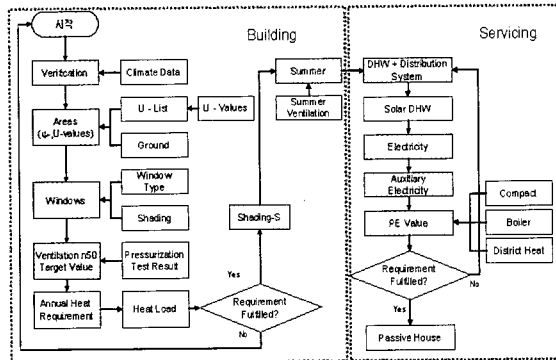
한국형 3리터 하우스 설계

3리터 하우스의 초기 에너지 디자인 설계는 간이시물레이션(PHPP: passive house planning package)을 이용하여 요구되는 건축요소의 성능을 설정한 후 설정값을 토대로 동적열에너지 해석프로그램을 이용하여 에너지성능 및 주거환경을 평가하였다.

PHPP는 Passive House Planning Package의 약어로 말 그대로 패시브 하우스의 설계를 도와주는 간



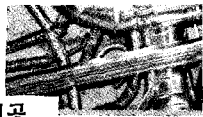
[그림 5] 창호열교방지 및 외벽단열공사



[그림 6] PHPP 계산과정

<표 1> 건물외피의 물성치(PHPP산정 결과)

구성 (U-value: W/m ² K)	두께 (m)	재료	비열 (J/kgK)	열전도율 (W/mK)	밀도 (kg/m ³)
외벽 (0.0834)	0.350	단열재	1380.0	0.030	25.0
	0.160	콘크리트	1000.0	1.130	2000.0
지붕 (0.2235)	0.005	아스팔트	1000.0	0.500	1700.0
	0.015	Ply wood	2500.0	0.150	560.0
	0.125	단열재	1380.0	0.030	25.0
	0.006	Ply wood	2500.0	0.150	560.0
최상층천장 (0.0734)	0.400	단열재	1380.0	0.030	25.0
	0.150	콘크리트	1000.0	1.130	2000.0
최하층바닥 (0.0936)	0.300	콘크리트	1000.0	1.130	2000.0
	0.300	단열재	1380.0	0.030	25.0
	0.300	콘크리트	1000.0	1.130	2000.0
창문 (0.8496)	0.420	3중 유리 (양면코팅 Low-E, 아르곤가스충진)			



초에너지절약주택(3리터 하우스)의 설계 및 시공

이계산법에 의한 통합패키지 프로그램이다.

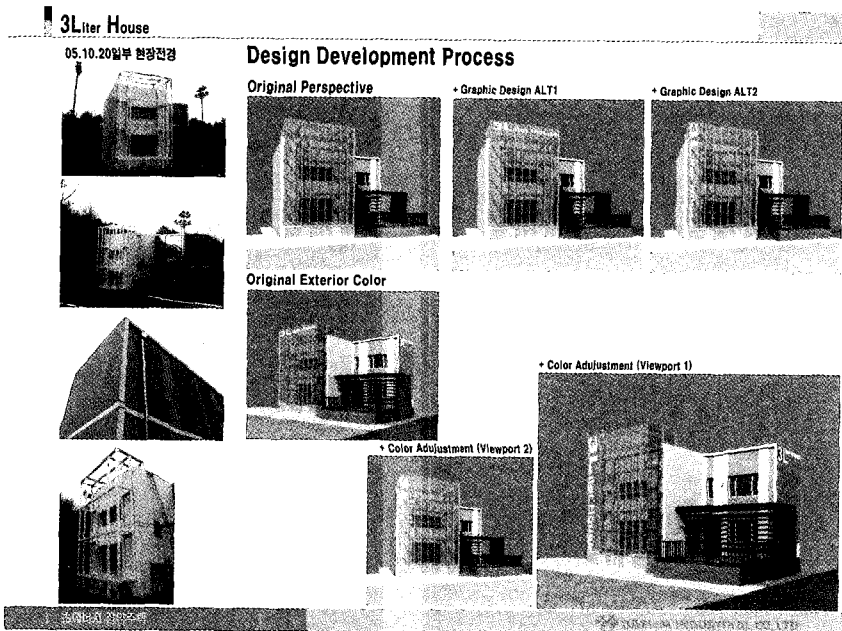
PHPP의 기본원리는 통상적인 난방시스템 없이 수퍼단열(외벽 0.1 W/m²K)에 의한 특수한 경계조건을 적용하여 기간열부하를 산출하며, 건물의 연간 에너지 소비량 예측은 표준 실온도 20℃를 기준으로 난방도일(heating degree hours)을 사용한다.

또한, 다른 간이계산법과 차이는 여름철 자연환기(night purge) 및 일사차폐(차양설치)에 의한 냉부하의 절감을 고려했다는 점과 보조 열원없이 실내를 쾌적상태로 유지하기 위하여 창호의 열관류율값을

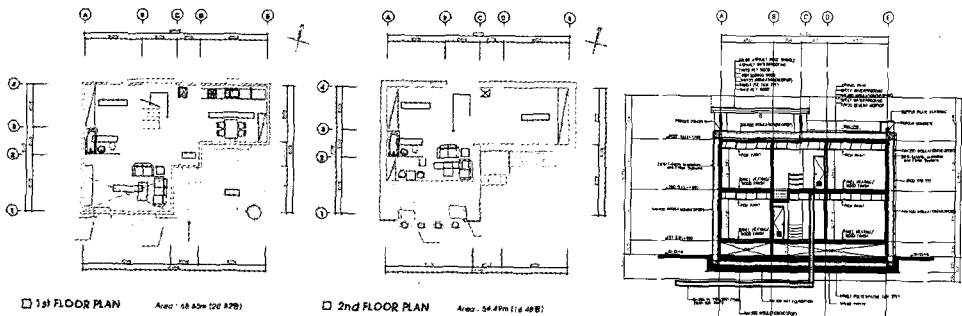
0.8 W/m²K 이하로 제한한 것이다. 이 밖에도 지면과의 열교부위고려, 태양열 온수급탕설계 반영을 통해 친환경요소를 추가하여 건물 전체의 에너지밸런스를 추정한다.

PHPP를 이용하여 3리터 하우스를 만족시키는 건물외피의 물성치를 산정하였으며(계산과정 그림 6), 그 결과는 표 1과 같다.

또한, 이를 바탕으로 한국기후에 적합한 3리터 하우스를 설계하였으며, 외관은 그림 7과 같으며, 평면 및 단면은 그림 8과 같다.



[그림 7] 3리터 하우스의 외관



[그림 8] 3리터 하우스의 평면 및 단면도

한국형 3리터 하우스의 에너지성능 및 주거 성능평가

3리터 하우스의 에너지성능 및 주거성능 평가는 영국 IES(社)의 VE프로그램(ApacheSim: ESP-r 기반)을 이용하여 평가하였다.

평가모델의 시뮬레이션 입력조건은 표 2와 같으며, 난방설정온도는 20℃로 가정하였다.

<표 2> 시뮬레이션 입력조건

변수	입력데이터	
시뮬레이션 모델	위치	서울
	향	남향
	바닥면적(m ²)	141.02 m ²
기상데이터	서울(1983)	
환기율	0.5 ACH	
재실자 (4명)	현열부하	65(75) W/person
	잠열부하	55(95) W/person
내부기기 발열스케줄		
조명 스케줄		
재실자 스케줄		
조명	현열부하	10 W/m ²
기기부하	현열부하	10 W/m ²

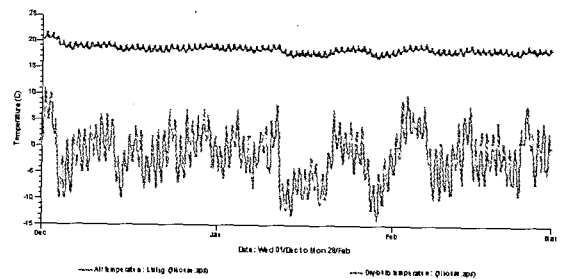
3리터 하우스는 수퍼단열과 초기밀 시공으로 외부 조건보다는 내부발열에 의해 실내쾌적상태를 유지할 수 있다. 따라서, 실내상태를 예측함에 있어 내부 발열요소는 매우 중요하다.

그림 9는 연중 가장 추운 12월, 1월, 2월의 1층 거실에서의 온도변화를 보여주고 있으며, 실내온도는 평균 18℃, 최소 17℃(외기온도가 -13℃일 때)로 유지되는 것으로 나타났다. 이 경우 난방온도를 20℃로 설정시 난방부하는 11.49 kWh/m²·year(1.1 Liter/m²·year)가 발생하였다.

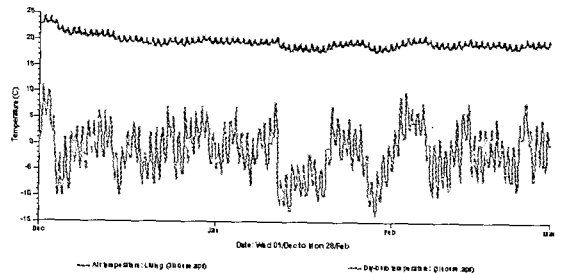
그림 10은 동일조건에 재실스케줄을 100%로 가정할 경우, 실내온도변화를 보여주고 있으며, 실내온도는 18℃~20℃ 나타났다.

한국형 3리터 하우스의 공사진행 현황

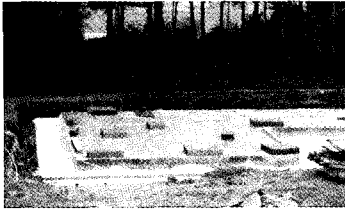
현재 본 시뮬레이션에서 도출된 결과를 이용하여 경기도 용인에 12월 준공목표로, 한국형 3리터 하우스가 시공 중에 있다(그림 11). 또한, 완공 후 2년간



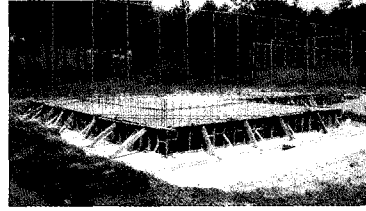
[그림 9] 1층 거실에서 온도변화(비난방시)



[그림 10] 1층 거실에서 온도변화 (비난방시-재실자스케줄 100% 가정시)



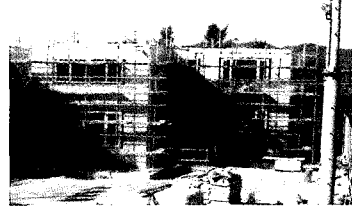
a) 바닥단열재설치(2005.8.31)



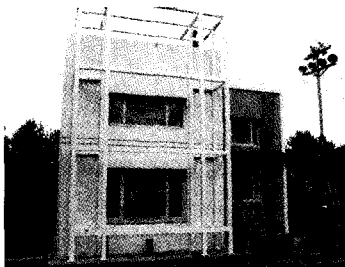
b) 기초 및 구체공사(2005.9.2)



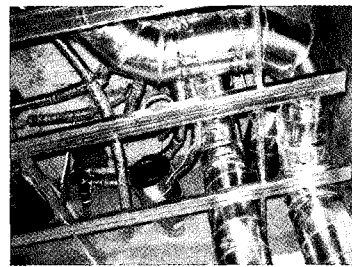
c) 골조공사완료(2005.9.26)



d) 창호설치공사(2005.10.12)



e) 이중외피 골조공사(2005.10.20)



f) 환기덕트공사(2005.11.11)

[그림 11] 3리터 하우스의 공산진행 현황

모니터링을 할 계획이며, 이후 수집된 자료와 시뮬레이션결과를 분석하여 우리나라 실정에 적합한 3리터 하우스(패시브하우스)의 설계방법에 대한 자료 및 방법론을 제시할 예정이다.

초에너지절약주택을 시공하면서 경제성의 문제는

매우 중요한 요소이지만, 에너지절약비용으로 시공 비용을 회수하는 단순적 논리의 경제성분석은 이제 다른 시각으로의 접근이 필요한 시점이다. 주택에서의 에너지절약과 CO₂방출 저감은 국가적 시스템으로 간주되어야 할 것이다. ㉔