

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 25, No. 4, 2005

고기밀 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구

신우철*, 윤종호**, 백남춘***

*대전대학교 건축학과(shinuc@dju.ac.kr), **한밭대학교 건축학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),

***한국에너지기술연구원 저온태양열연구센터(baek@kier.re.kr)

Experimental Study on Airtightness Performance of the House with High Levels of Insulation and Airtight Construction

Shin, U-Cheul*, Yoon, Jong-Ho**, Baek, Nam-Choon***

*Dept. of Architectural Engineering, Daejeon University (shinuc@dju.ac.kr),

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

***Solar Thermal Research Center, Korea Institute of Energy Research (baek@kier.re.kr)

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the air tightness of Zero Energy Solar House(ZeSH) and to propose the construction improvement of junctions and penetrations where air infiltration was identified. Air leakage rate were measured by means of blower door test in accordance with ASTM E779-87.

The results showed that ZeSH has an excellent airtightness with ACH50/20 (air change per hour at a pressure difference of 50 Pa between inside outside) of 0.34hr⁻¹ and leakage class E by normalized leakage area of ASHRAE.

Keywords : 굴뚝효과(Stack effect), 기밀성(Air tightness), 압력차 측정법(Blower door test), 제로에너지 솔라하우스(ZeSH), 침기(Infiltration)

1. 서 론

한국에너지기술연구원의 제로에너지 솔라 하우스(Zero energy Solar House; 이하 ZeSH){1}는 주택의 부하 구성비에 맞는 절약 및 대체에너

지의 핵심 요소 기술을 선별, 체계적인 기술 적용을 통하여 외부의 전원 공급 및 화석연료의 사용 없이 주택 자체에서 모든 에너지를 자급하려는 의도로 계획되었다. 현재 ZeSH의 1단계 목표인 70% 열부하 자립 데모주택이 대전 대덕 연구단

지내에 2002년 12월말에 준공되었으며, 2004년 초부터 본격적인 성능 모니터링을 실시하고 있다.

ZeSH는 설계 초기단계부터 열부하를 최소화하기 위한 고단열과 침기손실을 줄이기 위한 기밀화 시공기술을 비롯하여 부착온실, Trombe wall 과 TI(Transparent Insulation) wall 등의 자연형 태양열시스템 기술이 다양하게 적용되었으며, 에너지 성능평가 시물레이션을 통하여 최종설계안에 대한 최적화를 시도하였다.

그러나 각종 기술요소 적용에 따른 단계별 에너지성능 평가과정에서, 주요한 설계인자인 침기성능은 건물의 최종준공까지 정량적으로 파악하기 불가능한 기술요소로서 시간당 침기횟수의 추정치를 도입한 바 있다. 한편 시물레이션을 통한 에너지 성능평가 결과 ZeSH와 같은 고단열 저부하 주택의 경우 침기부하가 전체 부하에서 차지하는 비율이 매우 큰 것으로 밝혀져 이에 대한 적극적 대처방안이 필요한 것으로 나타났다.[1]

이에 따라 본 연구에서는 Blower door test 방식을 이용해 ZeSH를 대상으로 침기의 원인이 되는 구성요소 전체에 대해 각각의 침기율 산정을 위한 단계별 현장실험을 수행함으로써, 각 요소별 침기성능을 정량적으로 규명 제시하는 데 주 목적이 있다. 이들 결과는 향후 고단열 저부하 주택의 침기방지 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

2. 침기율 측정

2.1 침기율 측정방법

건물의 침기율 측정 방법에는 크게 두 가지로서 Trace gas 방법과 Blower door test 방법이 있다.

Tracer gas 방법은 KS F 2603 (옥내 환기량 측정 방법-이산화탄소법) 및 ISO 12569 (Tracer gas dilution method)에서 측정법을 설명하고 있다. 추적 가스의 특정한 주입 방법과 샘플 방법

에 따라 농도 감쇠법(Concentration decay method), 일정 농도법(Constant concentration method), 및 정량 주입법(Constant injection method) 등이 있으며, 이중 농도 감쇠법은 가장 간단하고 널리 사용되고 있는 방법으로, 초기에 일정량의 추적가스를 주입하여 실내 공기를 혼합한 후 초기 농도를 측정하고, 일정 시간의 경과 후 농도의 감쇠 수치를 이용하여 지수식으로부터 자연 환기량을 구하는 방법이다. 하지만, 자연 환기와 같이 환기량이 시시각각 큰 폭으로 변동하는 경우에는 측정농도로부터 환기량이 구하는 것이 불가능하며, 얻어진 환기량이 가지는 의미가 불명확한 경우가 있다.

Blower door test는 압력차 측정법으로서 ASTM E779-87(Standard test method for determining air leakage rate by fan pressurization) 및 ISO 9972(Determination of building airtightness-Fan pressurization method)에 규정되어 있다. 건물의 침기(Infiltration)를 측정하기 위한 방법으로 주로 실내부의 공기를 배기하여 부압을 유지하는 감압 테스트(Depressurization Test)가 표준으로 실시되며, 압력차 측정점은 높은 압력차부터 낮은 압력차로 실시한다. 최고 압력차는 건물의 체적 및 형태에 따라 다르지만 주로 50Pa 이상을 측정점으로 본다. Blower door를 이용한 압력차 측정법은 Tracer gas 방법에 비해 외기 변동에 그다지 큰 영향을 받지 않으며, 기기설치 및 측정방법이 단순하고 간편한 장점을 갖고 있다.

2.2 건물의 기밀 성능 평가 기준

미국의 경우는 ASHRAE 규격 '주택의 기밀성능'에서 침기부하에 대응하는 지표(Infiltration degree day)의 대소에 따라 지역을 구분하여 그 지역에 허용되는 기밀성능의 상한을 바닥면적에 대한 상당 누기면적(1.1 ~ 17.6cm²/m²)으로 나타내고 있다. 또한 표준누기면적(Normalized Leakage

Area), NL을 10 단계 침기등급(Leakage class)으로 표 1과 같이 구분하고 있다[2].

일반적으로 많이 사용되고 있는 LBL (Lawrence Berkeley Laboratory) 침기 모델에서는, 압력차 50Pa에서의 침기횟수(ACH50)를 침기율 교정상수 N으로 나누어 ACH50/N으로 나타내고 있다. N은 지역의 기상조건, 건물의 높이, 차폐물의 영향, 틈새의 유형을 보정하기 위한 수정계수로서 일반적으로 20이 사용되고 있다.

표 1. Leakage class

Range of Normalized Leakage Area	Leakage Class	Range of Normalized Leakage Area	Leakage Class
NL<0.10	A	$0.40 \leq NL < 0.57$	F
$0.10 \leq NL < 0.14$	B	$0.57 \leq NL < 0.80$	G
$0.14 \leq NL < 0.20$	C	$0.80 \leq NL < 1.13$	H
$0.20 \leq NL < 0.28$	D	$1.13 \leq NL < 1.60$	I
$0.28 \leq NL < 0.40$	E	$1.60 \leq NL$	J

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험 개요

본 연구에서는 침기량 측정을 위한 방법으로 현장 적용이 용이한 Blower door의 압력 측정법을 이용하였다. 측정기기는 미국 Energy Conservatory사의 Blower door 시스템(Model 3 230V)[3]를 사용하였다.

실제 정상상태에서의 실내외 압력차는 약 1 ~ 4Pa로 이때의 외피를 통한 침기량의 측정은 매우 어려운 실정이다. 따라서 일반적으로 10Pa에서부터 60Pa까지 5Pa내지 10Pa 간격으로 실내외 압력차를 증가시키면서 압력차마다의 풍량을 측정하여, 그 결과를 바탕으로 정상상태 4Pa의 침기량을 간접적으로 추정하는 방법을 사용한다. 본 측정 장비의 유효 압력차 측정범위는 10Pa ~ 100Pa로서 실험에서는 60Pa까지 측정하였다.

한편, 측정 시 실내·외부 조건은 미국 ASTM 기준에 따라, 기상조건이 풍속 0 ~ 2m/s, 외기온이 5 ~ 35℃을 유지한 상태에서 실내 환기설비의 흡기구 및 배기구를 밀봉하였다.

3.2 침기경로

침기는 풍압이나 굴뚝효과에 따른 실내외 압력차에 의해 발생하게 된다. 그림 1은 굴뚝효과(Stack effect)에 의해 발생하는 건물의 일반적인 침기경로를 나타낸 것이다. 실내에서 굴뚝효과에 의하여 상승된 공기는 상부 층 상부의 틈새 및 구멍을 통하여 유출되며, 부압이 형성된 하부 층에는 틈새를 통하여 외부의 차가운 공기가 유입된다. 여기서 침기가 발생하는 주요 틈새를 살펴보면 창호 주변과 전기나 조명, 전화선 등이 연결되는 전선관, 전기 단자함, 외벽과 연결되는 바닥 슬라브나 지붕 주변 등 구조체의 접합부, 수평 배관이 연결되는 수직 샤프트 주변 등 다양한 경로를 나타내고 있다. 대부분 이들 부위는 육안으로 확인하기 어려운 특성을 갖고 있다.

그림 2는 일반주택의 침기 부위별 틈새 면적비를 정리한 것이다[1]. 창호와 전선관 주변이 각각 24%와 4%를 차지하는 반면 나머지는 73%는 구조체의 접합부, 공조 및 배관용 배관이 연결되는 샤프트 주변이 차지하고 있다.

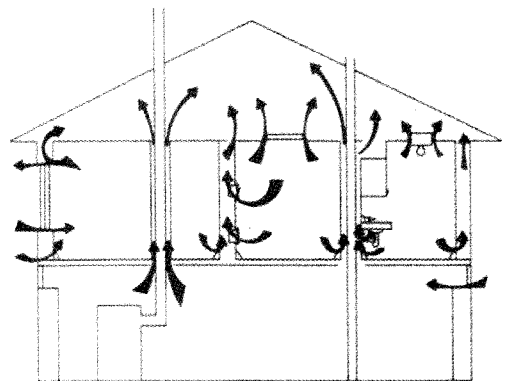


그림 1. Common air leakage

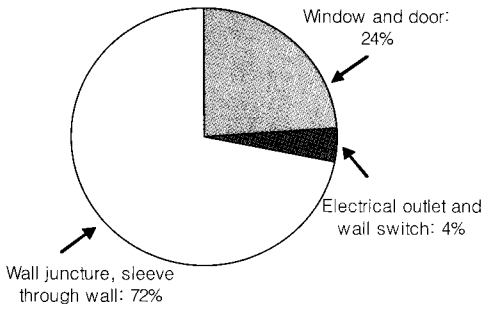


그림 2. Ratio of leakage area at common dwellings

3.3 실험 방법

Blower door를 이용한 틈새 부위별 침기량의 측정은, 해당 틈새 부위에 대한 밀봉 전·후의 침기량을 차감하여 추정할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 창호 주변, 전기 콘센트, 욕실 배관주변, 전기 단자함 등 육안으로 확인할 수 있는 모든 침기 예상부위를 완전히 밀봉한 상태에서 접근이 불가능한 천장 내부의 배관 연결 샤프트 주변과 구조체 접합부의 침기량을 먼저 측정하였으며, 이후 틈새 부위별 밀봉을 순서에 따라 하나씩 제거하는 과정으로 진행하였다.

그림 3은 현장에 설치된 Blower door 장치를 나타내며, 그림 4는 침기실험을 위해 건물 내부에 밀봉된 부위를 영역을 나타낸 것이다.

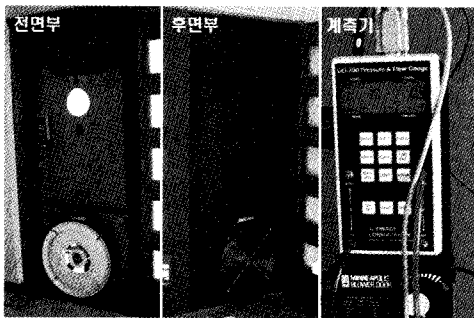


그림 3. Installed blower door equipment

그림 5와 그림 6은 ZeSH의 1층과 2층의 평면도를 나타낸 것이다. 도면상에 도식한 바와 같이

개방된 실을 중심으로 R1부터 R7까지 총 7개의 구역으로 구분하여 각 실험별 Blower door를 설치하여 실시하였으며, 이 과정에서 해당 구역을 제외한 모든 실의 문과 창을 완전히 개방하여 일정한 압력을 유지하도록 하였다.

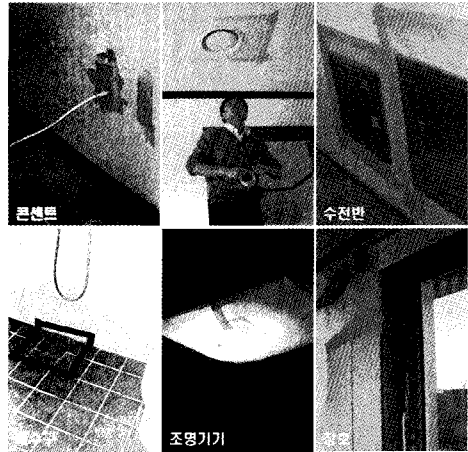


그림 4. Sealed areas for blower door testing

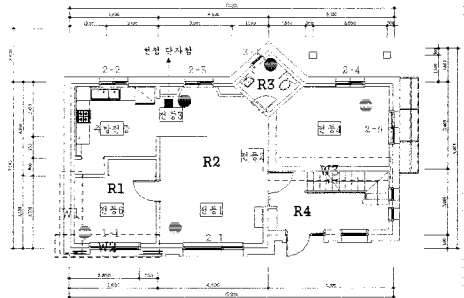


그림 5. 1st floor plan of ZeSH

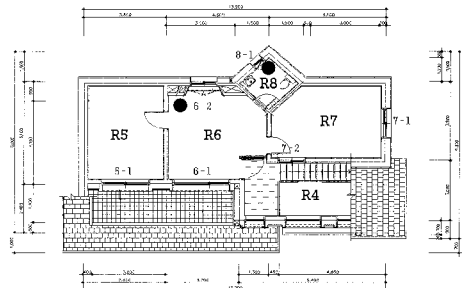


그림 6. 2nd floor plan of ZeSH

3.4 실험 결과

그림 7과 그림 8은 1층과 2층의 전체 침기량과 틈새 부위별로 측정된 침기량을 동시에 나타낸 것이다. 여기서 틈새부위는 창호(①, ○)와 조명 및 콘센트가 연결된 전선관(②, ▽), 전기단자함(③, △), 구조체 접합부를 포함한 수직 샤프트(shaft)와 연결된 수평 배관주변(④, □) 등 4가지로 구분하였다.

표 2는 틈새 부위별 침기량의 타당성을 검증하기 위하여 50Pa 상태에서 4가지 틈새 부위별 침기량의 합(Sum)과 틈새부위의 밀봉을 모두 제거하고 측정한 층별 전체 침기량(Whole)을 비교한 것이다. 1층과 2층의 침기량 상대오차는 각각 4.2%와 2.5%로서 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

표 3은 ZeSH의 침기량 측정결과를 정리한 것이다. 표 1에 제시한 ASHRAE의 표준누기면적에 따른 침기등급은 1층과 2층이 각각 C 등급과 E 등급으로서 기 수행된 신축 공동주택의 연구결과(4)와 비교할 때 상당히 높은 기밀수준을 유지하는 것을 알 수 있다. 또한 LBL 침기모델에 따른 ZeSH의 전체 침기횡수(ACH50/20)는 0.22회/h로서 유럽의 CEPHEUS 프로젝트(5)에 의해 수행된 고기밀성 패시브하우스(Passive Houses)의 평균 침기횡수 0.3~0.61회/h에 비해 우수한 것으로 평가되었다. 여기서 침기율 교정상수는 20을 적용하였다.

한편 50Pa 상태에서 층간 내부유동을 포함한 1층과 2층의 전체 침기량은 각각 834.54m³/hr와 943.8 m³/hr로서 현관 입구에서 측정된 건물 전체의 침기량 1414.27m³/hr 보다 다소 많은 것을 알 수 있다. 이 차이는 1층과 2층 사이의 틈새에서 발생하는 내부 공기순환으로 판단된다.

표 2. Air leakage rate(m³/hr) at a difference of 50 Pa

	①	②	③	④	Sum	Whole
1 st Floor	74.8	19.6	94.1	437.3	625.8	652.5
2 nd Floor	40.2	32.5	-	708.3	781.0	761.8

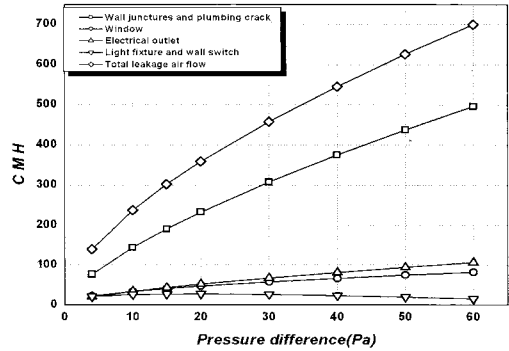


그림 7. Air leakage rate of 1st floor

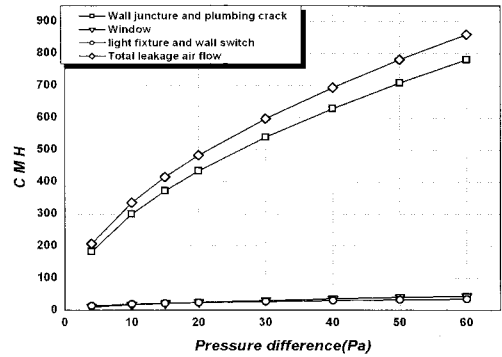


그림 8. Air leakage rate of 2nd floor

표 3. Results of Blower door testing

	1 st Floor	2 nd Floor	Total
Area(m ²)	81.8	62.3	144.1
Volume(m ³)	184.7	141.2	325.9
ACH50	3.5	5.4	4.3
ACH50/20	0.18	0.27	0.22
NL(m ²)*	0.19	0.39	0.34

*Normalized Leakage Area

그림 9는 ZeSH의 침기 부위별 틈새면적비의 측정결과를 도식한 것이다. 그림 2의 일반주택과 비교할 때, 창호부위의 침기발생이 8%로서 크게 감소하는 반면 구조체 접합부를 비롯한 배관 샤프트 주변의 틈새면적비가 상대적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이들 부위는 내장 마감 후 육안으로 확인하기 어려운 곳으로서 시공단계에서 철저한 대책이 요망된다.

한편 1층 벽체에 매립 설치된 전기 단자함은 각종 전선이 집중된 곳으로 설치 면적에 비해 상당한 침기가 발생하고 있는 것으로 나타났다.

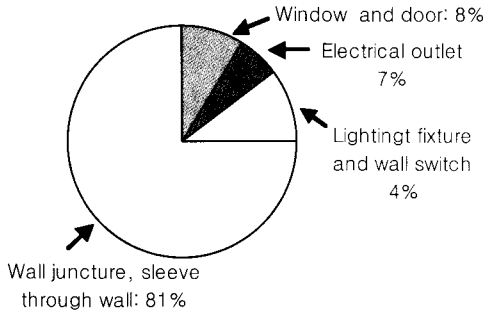


그림 9. Ratio of leakage area in ZeSH

그림 10은 각 실에 설치된 창호의 침기량을 10Pa 상태를 기준으로 나타낸 것이다. 여기서 10Pa은 KS F 2292의 '창호의 기밀성능 시험 방법'에 따른 기준 압력이 된다. 계단실을 제외한 전층의 외피에 적용된 창호의 면적은 29.79m²이며, 창호의 평균 침기량은 1.71m³/m²hr이 된다. 실별로 다소 차이는 있으나 KS F 2292에 의거 한국에너지기술연구원의 창호성능시험센터에서 측정된 동일 창호의 기밀성능 0.76m³/m²hr와 비교할 때 220% 이상 많은 것으로 분석되었다. 결과는 창호 시공 시 프레임과 벽체 사이에서 상당한

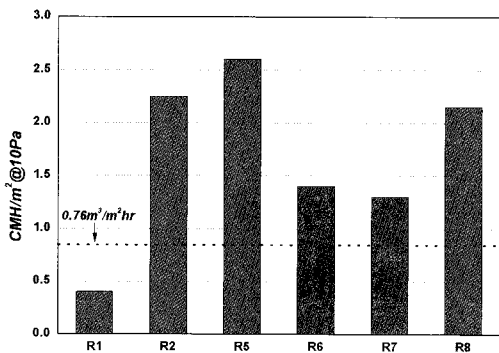


그림 10. Air leakage rate of windows at each zone

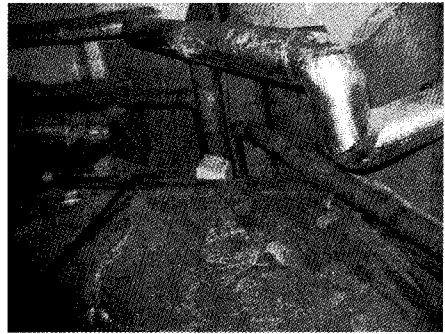


그림 11. Pipe shaft entrance in a roof



그림 12. Sleeve through wall

틈새가 발생하고 있다는 것을 의미한다. 그림 11과 그림 12는 천정 내부에서 수평배관이 연결되는 수직 샤프트 부위와 지하실의 샤프트의 최하단 부를 나타낸 것이다. 연결부위 주변의 마감시공이 다소 미흡한 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 Blower door test에 의한 압력 측정법을 이용하여 제로에너지 태양열주택의 전체 침기성능 및 각 침기 발생 요소별 침기성능을 평가하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제로에너지 태양열 주택에 대한 ASHRAE의 표준누기면적에 따른 침기등급은 1층과 2층이 각각 C 등급과 E 등급을 갖는 것으로 분석되었으며, LBL 침기모델에 따른 전체 침기횿수 (ACH50/20)는 0.22회/h를 나타냈다.

둘째, 침기 부위별 틈새 면적비를 분석하면 가장 많은 침기 발생부위는 구조체 접합부를 비롯한 배관 샤프트 주변으로서 81%를 차지하고 있으며, 조명 및 콘센트가 연결된 전선관이 4%, 창호 및 전기단자함이 각각 8%와 7%를 보이고 있다.

셋째, 10Pa의 압력차에 따른 창호의 평균 침기량은 $1.71\text{m}^3/\text{m}^2\text{hr}$ 로서 KS F 2292(창호의 기밀성능 시험 방법)에 의거 측정된 동일 창호의 $0.76\text{m}^3/\text{m}^2\text{hr}$ 과 비교할 때 220% 이상 많은 것으로 파악되었다. 창호 시공 시 프레임과 벽체 사이에서 틈새가 발생하는 것으로 추정된다.

본 연구 결과는 ZeSH와 같은 고단열 저부하 주택의 전체 침기성능을 현장측정을 통해 실측하고, 특히 침기를 발생시키는 주된 부위 및 각 부위별 침기량을 정량적으로 규명함으로써 향후 고단열 저부하 주택의 침기방지 설계를 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. KIER, 2003, Development of Zero Energy Solar House (III), Technical Reports of KIER, KIER-A32406
2. ASHRAE Standard 119, 1988, Air Leakage Performance for Detached Single Family Residential buildings, 1988.
3. The Energy Conservation, 2003, Blower Door Manual.
4. Won, K. H. and Huh, J. H., 2002, "Airtightness Evaluation of Apartment Based on their deterioration length", Proceeding of the SAREK, pp. 508-513.
5. Jurgen Schnieders, 2003, "CEPHEUS-measurement results from more than 100 dwelling units in passive houses", ECEEE 2003 SUMMER STUDY, pp. 341-351.