

패시브 디자인을 적용한 주택의 기밀성에 관한 실측 사례 연구

The measurement study on the airtightness of dwellings based on the passive design

이 태 구* 윤 두 영**
Lee, Tae-Goo Yun, Doo-Young

Abstract

Today, the world energy consumption in buildings occupies more than 30%. In our country, the energy consumption in buildings also occupies 25% of the entire national energy consumption. With the increasing demand of energy saving in architectural fields, there is a more interest in low-energy construction. For these low-energy housings, our country is planning to apply the energy-saving design standards at the level of passive houses in 2017. However, there is still a limitation in energy saving only with the standards on the performance of envelope in buildings. This means that unless a building is airtight even though it was well-insulated, cooling and heating energy consumption will increase due to the infiltration and leakage.

Therefore, this study aims to make a comparative analysis of airtight performance by conducting a blower door test on the housings applied with passive designs, analyze the reasons why most houses fall short of the airtightness standards, and complement the airtightness problems in the inadequate parts of the buildings in order to save building energy.

키워드 : 기밀도, 블로어도어, 침기, 누기

Keywords : airtightness, blower door, infiltration, leakage

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

세계적으로 에너지 절감을 위해 여러 활동이 이루어지는 가운데 온실 가스 배출 감소를 위해 다양한 분야에서 노력이 기울여지고 있으며, 그 방안으로 각종 에너지 절감 정책과 프로젝트 등이 진행되고 건축 분야에서도 에너지 절약을 위한 여러 방안들이 시도되고 있다.

건축물에서의 에너지 소비는 전 세계적으로 에너지 소비의 30% 이상을 차지하고 대부분이 냉·난방 에너지로 사용되고 있다. 우리나라 역시 건축물에서 소비되는 에너지가 국가 전체 소비량의 25%로 많은 부분을 차지하고 있으며 이에 건축분야에서의 에너지 절약이 필요한 가운데 저에너지 건축에 대한 관심이 높아지고 있다.

저에너지 건축을 만드는 일환으로 에너지의 소비를 최소화하는 패시브하우스는 독일에서 약 20년 전에 먼저 시작되

어 독일과 오스트리아를 중심으로 널리 확산되었다. 현재 독일은 건축물 신축 시 패시브하우스 기준에 맞춰 건축하도록 하고 있으며 2013년부터는 그 기준이 의무화가 되었다.

우리나라에서도 이러한 저에너지 주택을 위해 에너지 절약 설계기준이 2017년에는 패시브하우스 수준으로 적용될 예정이며, 신축 건물의 외벽과 지붕, 창 등의 단열기준이 부위별로 약 10~30% 강화될 계획이다.¹⁾ 그러나 건축물에서 외피성능의 기준만으로는 에너지 절감에 한계가 따른다. 이는 아무리 단열이 잘된 건물이라도 기밀하지 못한다면 침기와 누기로 인한 냉·난방에너지 소비량이 증가하게 된다.

따라서 본 논문에서는 건물에서 사용되는 에너지의 절감을 위해 건축되는 패시브 디자인을 적용한 주택들을 블로어도어 테스트(Blower Door Test)를 통해 기밀성능을 비교·분석하여 측정된 기밀도를 토대로 기준미달 요소를 분석하고 건물의 기밀성을 보강하기 위한 주요부분을 찾아내어 건물 에너지를 절감하는 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

* 주저자, 세명대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(tglee2911@naver.com)

** 교신저자, 세명대학교 건설공학과 석사과정
(loveis8787@naver.com)

1) 2013.01.06 앞선생각 앞선신문 건설경제
CNEWS(<http://www.cnews.co.kr>)

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 패시브 디자인 요소를 적용한 경기도 용인시 동백동 K씨의 주택, 충북 제천시 도화리 K씨의 주택, 충북 제천시 신월동 실험주택, 강원도 횡성군 둔내면 A씨의 주택을 각각 ALT-1, ALT-2, ALT-3, ALT-4로 분류하여 기밀성을 알아보는 침기량 측정을 위한 방법으로 미국 Energy Conservatory사의 Minneapolis Blower Door 시스템을 이용하여 측정하였다.

2. 패시브 하우스의 기밀성능

2.1 기밀성능

기밀성은 건물에서 실내·외로 유입, 유출되는 공기를 막아주는 정도를 나타내며, 기밀성을 알아내기 위하여 일정한 압력을 가해 내부의 유체가 외부로 누출되는 정도로 확인할 수 있다.

<그림 2-1>은 기밀층 형성시 주의하여 시공해야 하는 부위를 나타낸 것이며, <그림 2-2>는 일반 주택의 침기 부위별 면적비를 나타낸 것이다.

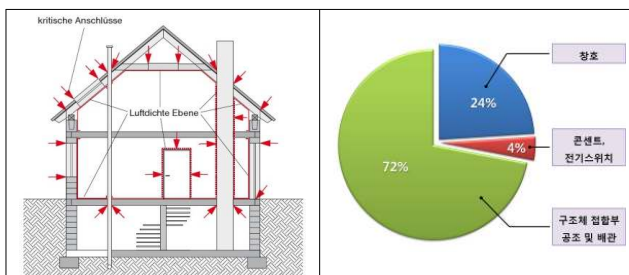


그림 2-1. 기밀층 형성 시 주의 해야 하는 부위²⁾

그림 2-2. 일반 주택의 침기 부위별 면적비³⁾

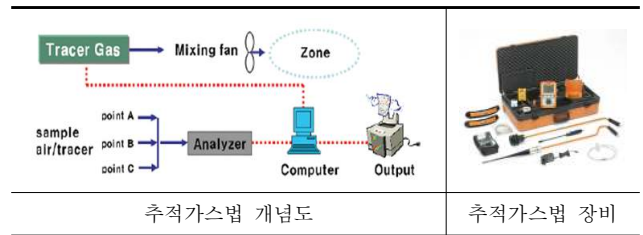
2.2 기밀성능 측정 방법

1) 가스추적법(Tracer Gas Test)

가스추적법(Tracer gas)은 추적가스를 임의로 실내에 분출한 후 그 농도의 변화를 가스측정기에 의해 측정하는 것이다. 추적가스로는 SF₆, CO₂ 등이 사용되며 현장에서 사용하기에 위험성이 적은 불활성, 비독성, 불연성이어야 한다. 대체로 구입이 용이하고 가격이 저렴한 CO₂ 가스가 주로 사용된다. 가스추적법으로 기밀성능을 측정할 시에는 실내로 분출된 추적가스가 실내에 균일하게 확산될 수 있도록 팬을 이용하여 적절히 혼합시켜 주어야 하며, 추적가스의 실내 농도 변화를 정확히 측정하기 위해서는 여러 군데의 측정 위치 선정이 필요하다.⁴⁾ 이 방법은 자연상태에서의 환기율을 직접 측정할 수 있다는 장점을 가지나 바람이나 온도 등에 민감하게 반응하기 때문에 정확한 값을 찾아내

기에는 어려우며 대규모 건물에서의 측정이 힘들다.

표 2-1. Tracer Gas Test 개념도 및 장비



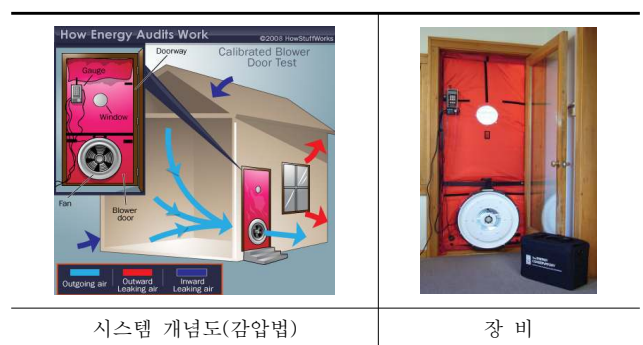
2) 감압/가압법(Depressurization/Pressurization Test)

블로어도어(Blower Door)는 건물내의 기밀도를 측정하고 기밀이 새는 곳을 찾는 것을 돕게 고안된 진단 기기이다. 이 기기로 건물의 건축구조의 기밀도를 확인하고 집안의 자연 흡입률을 예측하며 기밀성능 측정 및 확인이 가능하며 강제 에어 순환시스템의 덕트 누기 측정이 가능하다. 감압법과 가압법은 블로어도어의 팬으로 에어를 불어내거나 불어 넣는 방법으로써 건물 안과 밖에 차압이 발생하여 기밀도를 측정하는 방법이다.

감압법((Depressurization Method)은 송풍기(fan)를 이용하여 실내 압력을 감소시켜 임의 상태로 유지시킨 후 단계적으로 압력을 증가시키면서 압력변화에 따른 침기량을 측정하는 방법으로 한 실 또는 주호 전체를 대상으로 측정할 경우와 일정 부위에 대한 침기량을 산출하기위해 사용된다. 가압법(Pressurization Method)은 감압법과 같은 원리를 이용하며 공기를 실내로 불어넣어 실외로 빠져나가는 누기량을 측정하는 방법이다.⁵⁾ 최고 압력차는 건물의 체적 및 형태에 따라 다르지만 주로 50Pa 이상을 측정점으로 한다.

블로어도어(Blower Door)를 이용한 압력차 측정법은 추적가스법(Tracer Gas Test)에 비해 외기 변동에 그다지 큰 영향을 받지 않으며, 기기설치 및 측정방법이 단순하고 간편한 장점을 가지므로 주로 이용되는 실측방법이다.

표 2-2. Blower Door Test 개념도 및 장비



3. 패시브 디자인을 적용한 주택 기밀성능 실험

3.1 실험 방법

5) 박원석, 주거용건물의 기밀성능 기준설정을 위한 침기량 실측에 관한 연구, 호서대학교 대학원 석사학위논문 21p, 2003

2) RWE-Bauhandbuch 13. Ausgabe, Germany

3) 신우철, 고기밀, 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 논문집 vol.25 no.4, 2005.12

4) 박원석, 주거용건물의 기밀성능 기준설정을 위한 침기량 실측에 관한 연구, 호서대학교 대학원 석사학위논문 22p, 2003

블로어도어를 이용한 침기량의 측정은 50Pa을 기준으로 감압법(Depressurization)을 사용하였다. 측정은 50Pa에서 5Pa의 간격으로 실내의 압력을 감소시켜 압력차마다 풍량을 측정하여 추산하는 방법이다.

기밀도 측정 테스트를 시행하기 전 체크 사항을 살펴보면 다음과 같다. 먼저 선행되어야 하는 것은 기밀 측정기계의 적합성 검증이다. 압력차에 따른 일정한 양의 공기 공급의 정확성, 압력측정 장비의 오차범위가 0~60Pa에서 ±2Pa 이내 또는 60~100Pa에서 ±3Pa 이내의 오차 범위에 있어야 하며, 공기량 측정기계의 정확성이 ±7% 이내여야 한다. 측정 시 기후의 조건은 내부와 외부의 온도 편차가 적어야 하며 원활한 내부 50Pa의 압력을 형성하기 위해 내·외부의 온도차와 건물의 높이의 곱한 값이 500m·K를 이하여야 하고, 외부 바람의 풍속은 6m/s이하일 때 측정하여야 한다.

밀봉 작업에 있어 외부로 통하는 모든 문과 창문은 닫았으며 실내의 문은 개방하여 압력 형성에 있어 하나의 존(Zone)으로 구성하였고, 외부로 통하는 부엌 및 욕실의 환기구 또는 배기구와 배수구는 밀봉 처리하였다. 연소 장비의 경우 사용을 중지하고 환기장치의 가동을 중지하고 외부유입구를 차단하였다. 본 연구에서는 ACH50(Air Change per Hour at 50 pascals)⁶⁾의 기준에 의거한 실험값의 데이터를 바탕으로 분석하였다.

3.2 대상 주택 개요

1) ALT-1

ALT-1은 경기도 용인시 기흥구 동백동에 위치해 있으며 듀플렉스 하우스로 A동과 B동이 인접해 있다. 약 165㎡의 건축면적에 지상 2층의 규모이고 철근콘크리트 구조 방식으로 지붕은 박공지붕에 경량목구조이며 단열은 양단열 방식으로 시공되었고 납축 창호는 아르곤가스를 충전한 2중 및 기타 향은 아르곤가스를 충전한 3중 창호를 사용하였다.

표 3-1. ALT-1 주택 개요

위 치	경기도 용인시 기흥구 동백동 75-161번지	
	대지면적	826㎡
	건축면적	164.76㎡
	건 폐 율	19.95%
	연 면 적	329.52㎡

6) 시간당 기류 변화를 나타내며 건물 외피에 50Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 환기 되는지를 나타내고 서로 다른 크기의 건물에서 측정된 누기량을 비교할 때 유용하다. 독일의 패시브하우스 기준에서는 0.6h⁻¹을 기준으로 하고 있으며 권장환기횟수는 0.3h⁻¹을 권장한다. 독일의 DIN EN 13829에서 정하는 n₅₀의 기준은 자연 상태에서 생기는 일반적인 압력차로 기밀성의 분석이 어려워 외부조건에 의한 변화요인을 감소하기 위하여 인위적으로 50pa의 압력을 가하며 부가적으로 기밀시공 접착면의 내구성을 판단하기 위한 압력 기준이다.

내부는 석고보드와 실크벽지, 친환경페인트, 황토미장재로 마감하고, 외부는 칼라 천연물탈로 마감을 하였으며, 창문의 크기가 다른 측정 주택에 비해 작은 것이 특징이다.

2) ALT-2

충북 제천시 송학면 도화리에 위치한 ALT-2는 약 178㎡의 건축면적에 지상 1층의 규모로 철근콘크리트 구조 방식으로 평지붕이며 단열은 양단열로 시공되었고 전면은 Low-e코팅에 아르곤가스를 충전한 2중 창호, 기타면은 아르곤가스를 충전한 3중 유리 창호를 사용하였다.

내부는 황토미장 위에 천연 페인트로 마감을 하였으며, 외부는 천연 물탈 위에 천연 페인트로 마감하였다.

표 3-2. ALT-2 주택 개요

위 치	충북 제천시 송학면 도화리 720-11 외 5필지	
	대지면적	1,192㎡
	건축면적	178.21㎡
	건 폐 율	14.95%
	연 면 적	176.65㎡

3) ALT-3

실험 주택 목적인 ALT-3는 충북 제천시 신월동에 위치하며 약 25평의 건축면적에 지상 1층에 다락층을 둔 규모이다. 철근콘크리트 구조방식에 박공지붕이며 경량목구조로 단열은 양단열, 창호는 모두 아르곤가스를 충전한 3중 유리 창호를 사용하였다.

내부 마감은 황토미장 위에 천연페인트와 목재를 사용하여 마감으로 하였고, 외부는 천연 미장재인 모노쿠쉬로 마감하였다.

표 3-3. ALT-3 주택 개요

위 치	충북 제천시 신월동 513-10외 1필지	
	대지면적	988㎡
	건축면적	84.12㎡
	건 폐 율	8.51%
	연 면 적	84.12㎡

4) ALT-4

ALT-4는 강원도 횡성군 둔내면에 위치한 주택으로 약 44평의 건축면적에 지상1층에 다락층을 둔 규모이다. 철근콘크리트 구조에 지붕은 경량목구조이며 단열은 양단열로 시공되었고 창호는 모두 아르곤가스를 충전한 3중 창호를 사용하였다.

내부는 시멘트미장 위에 천연페인트로 마감하였고, 외부는 천연 미장재인 모노쿠쉬로 마감하였다.

표 3-4. ALT-3 주택 개요

위 치	강원도 횡성군 둔내면 우용리 산 85번지		
	대지면적	1,881㎡	
	건축면적	145.3㎡	
	건 폐 율	7.7%	
	연 면 적	187.3㎡	

3.3 블로어도어 기밀테스트 결과분석

본 장에서는 대상 주택들을 블로어도어 테스트(Blower Door Test)의 감압법을 이용한 측정을 실시하였다.

1) ALT-1

주택의 기밀성능을 측정하기위해 다음과 같은 건축물의 내·외부 기본조건을 적용하였다.

표 3-5. ALT-1 경계조건

측정방법	감압법	내부체적	455㎡
실내온도	22℃	외피면적	399㎡
실외온도	25℃	바닥면적	206㎡

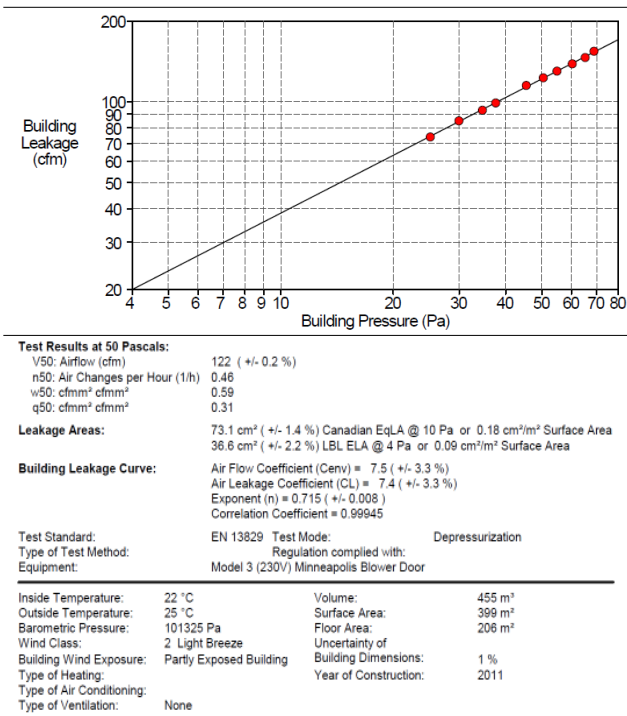


그림 3-1. ALT-1 Test Results at 50 Pascals(기밀성능치)

실내·외 온도의 차이가 3℃ 나타난 ALT-1은 기밀성 측정 결과 0.46h⁻¹의 측정치를 보였다. 이는 독일 패시브하우스 기밀성 기준인 0.6h⁻¹를 충족하는 기밀성능으로 사용기간 10년 이하의 일반적인 단독주택의 기밀성능인 10.68 h⁻¹에 비해 약 23배의 좋은 성능을 보였다.



a. 외벽-지붕부위 b. 벽-프레임

그림 3-2. ALT-1 기밀 시공사진

ALT-1은 기밀성의 중요성을 인지하고 있는 시공자가 시공한 주택이다. <그림 3-2>을 살펴보면 기밀에 있어 취약부위인 창호 시공부위를 내부와 외부의 기밀 작업 및 방수 테이프 처리 등 기밀과 습기에 의한 단열성능 저하에 대한 충분한 고려를 하였으며, 이질 재료간의 접촉면 탈락에 대한 방지대책과 기밀시공에 대한 많은 노력을 기울인 결과로 좋은 기밀성능을 확인할 수 있었다.

2) ALT-2

주택의 기밀성능을 측정하기위해 다음과 같은 건축물의 내·외부 기본조건을 적용하였다.

표 3-6. ALT-2 경계조건

측정방법	감압법	내부체적	370㎡
실내온도	24℃	외피면적	440㎡
실외온도	22℃	바닥면적	135㎡

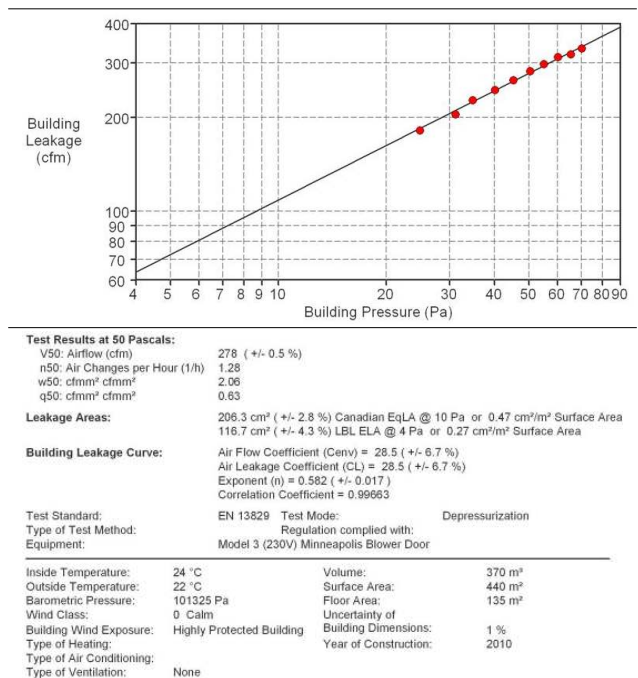


그림 3-3. ALT-2 Test Results at 50 Pascals(기밀성능치)

7) 윤종호 외 4명, 충청지역 단독주택의 기밀성능 실측 연구, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.28 No5 pp68, 2008.10, 논문 <표 3>의 case1~6의 ACH50 합의 평균값

ALT-2는 실내·외 온도 차이가 2°C 발생하였으며 기밀성 측정 결과는 $1.28h^{-1}$ 로 독일 패시브하우스 기준 $0.6h^{-1}$ 을 초과하는 기밀성으로 측정되었다.



a. 벽-프레임 틈새 b. 설비관로 밀봉
그림 3-4. ALT-2 기밀 시공사진

이 주택은 중량형 건물로서 건물자체의 마감 및 공법으로 경량형 건물에 비해 일정성능 이상의 기밀성을 확보할 수 있을 것으로 사료되었으나, <그림 3-4>를 통해 창호시공 과정에서 고려되어야 하는 배관과 환기구에서의 기밀 처리가 미흡한 부분이 저해 요인으로 분석되었다.

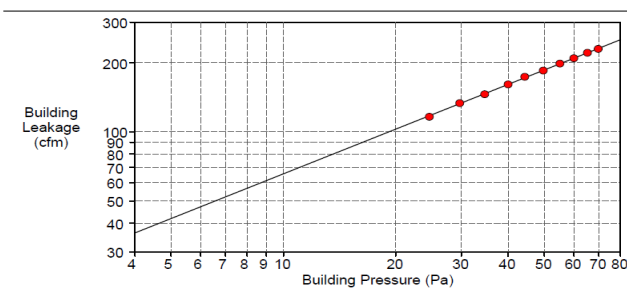
하지만 별다른 기밀 시공 없이도 기존 국내 주택에 비해 높은 결과치의 기밀성능이 도출되어 중량형 건물 시공자체에 대한 기밀성이 유지됨을 확인할 수 있었지만, 차후 중량형 건물 시공 시 설비배관과 환기, 전기 및 통신관로 개구부 등의 기밀 시공에 대한 작업이 필히 고려되어야 할 것이다.

3) ALT-3

주택의 기밀성능을 측정하기위해 다음과 같은 건축물의 내·외부 기본조건을 적용하였다.

표 3-7. ALT-3 경계조건

측정방법	감압법	내부체적	258m ³
실내온도	19°C	외피면적	216m ²
실외온도	22°C	바닥면적	111m ²



Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (cfm)	186 (+/- 0.2%)		
n50: Air Changes per Hour (1/h)	1.22		
v50: cfm/m ² cfm/m ²	1.87		
q50: cfm/m ² cfm/m ²	0.86		
Leakage Areas:			
	124.3 cm ² (+/- 0.9%) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.58 cm ² /m ² Surface Area		
	66.3 cm ² (+/- 1.4%) LBL ELA @ 4 Pa or 0.31 cm ² /m ² Surface Area		
Building Leakage Curve:			
	Air Flow Coefficient (Cenv) = 14.8 (+/- 2.2%)		
	Air Leakage Coefficient (CL) = 14.8 (+/- 2.2%)		
	Exponent (n) = 0.847 (+/- 0.006)		
	Correlation Coefficient = 0.99971		
Test Standard:			
Type of Test Method:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Equipment:	Regulation complied with: Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	19 °C	Volume:	258 m ³
Outside Temperature:	22 °C	Surface Area:	216 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	111 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of Building Dimensions:	1 %
Building Wind Exposure:	Partly Exposed Building	Year of Construction:	
Type of Heating:			
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		

그림 3-5. ALT-3 Test Results at 50 Pascals(기밀성능치)

실내와 외부의 온도 차이가 3°C 발생한 ALT-3의 주택은 기밀성 측정 결과 $1.22h^{-1}$ 으로 독일 패시브하우스 기준 $0.6h^{-1}$ 을 초과하는 기밀성으로 측정되었다.

ALT-3는 기밀성능 저하에 가장 문제가 되는 부위가 지붕이다. 지붕의 경우 목구조 작업자들이 기밀성 형성에 대한 인식이 없는 상태에서 기존의 지붕 구조 방식으로 기밀 시공 관련작업을 진행하여 기밀성능의 저하를 가져온 것으로 평가된다.



a. 기둥 부위 기밀작업 b. 벽-지붕연결부작업
그림 3-6. ALT-3 기밀 시공사진

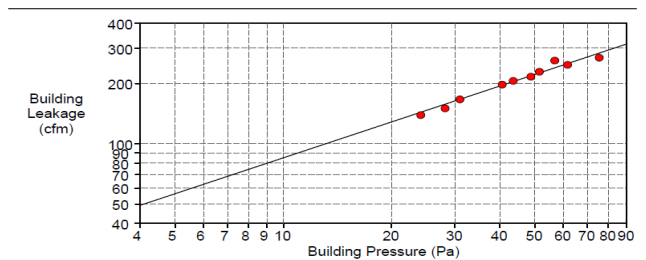
기밀테스트 확인 결과 출입문에서 침기의 발생이 있었으며, 기밀 작업시 지붕을 구성하는 목구조에 사용된 목재의 경우 일반적인 2×4인치, 2×6인치의 목재로 기둥과 보를 만들어 목재 사이의 결합부분에서 침기가 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 다락층 시공 시에도 벽체와 다락 슬래브 간 틈새가 발생하여 기밀성 측정 결과가 높은 것으로 판단된다.

4) ALT-4

주택의 기밀성능을 측정하기위해 다음과 같은 건축물의 내·외부 기본조건을 적용하였다.

표 3-8. ALT-4 경계조건

측정방법	감압법	내부체적	530m ³
실내온도	18°C	외피면적	568m ²
실외온도	2°C	바닥면적	160m ²



Test Results at 50 Pascals:			
V50: Airflow (cfm)	222 (+/- 1.5%)		
n50: Air Changes per Hour (1/h)	0.71		
v50: cfm/m ² cfm/m ²	1.39		
q50: cfm/m ² cfm/m ²	0.39		
Leakage Areas:			
	161.2 cm ² (+/- 7.8%) Canadian EqLA @ 10 Pa or 0.28 cm ² /m ² Surface Area		
	90.1 cm ² (+/- 12.1%) LBL ELA @ 4 Pa or 0.16 cm ² /m ² Surface Area		
Building Leakage Curve:			
	Air Flow Coefficient (Cenv) = 21.0 (+/- 18.7%)		
	Air Leakage Coefficient (CL) = 21.6 (+/- 18.7%)		
	Exponent (n) = 0.596 (+/- 0.048)		
	Correlation Coefficient = 0.97540		
Test Standard:			
Type of Test Method:	EN 13829	Test Mode:	Depressurization
Equipment:	Regulation complied with: Model 3 (230V) Minneapolis Blower Door		
Inside Temperature:	18 °C	Volume:	530 m ³
Outside Temperature:	2 °C	Surface Area:	568 m ²
Barometric Pressure:	101325 Pa	Floor Area:	160 m ²
Wind Class:	2 Light Breeze	Uncertainty of Building Dimensions:	0.15 %
Building Wind Exposure:	Highly Exposed Building	Year of Construction:	2012
Type of Heating:			
Type of Air Conditioning:			
Type of Ventilation:	None		

그림 3-7. ALT-4 Test Results at 50 Pascals(기밀성능치)

ALT-4는 실내·외부의 온도 차이가 16℃로 높은 차이를 보였으며 기밀성은 측정 결과 독일 패시브하우스 기준에 약간 모자라는 수치를 보이는 $0.71h^{-1}$ 로 측정되었다.



a. 지붕 기밀작업 b. 벽-프레임
그림 3-8. ALT-4 기밀 시공사진

구조부의 시공 상에서 문제는 발견되지 않았지만, 블로어 도어 측정 시 창호의 결합부분에서 문제가 발생하는 것을 발견할 수 있었다. 또한 창문 외부 블라인드를 작동하는 리모콘이 내부에 설치되었지만 연결전선 주변의 기밀성능 부족으로 침기와 누기가 발생하는 것으로 조사되었다.

3.4 소결

<표 3-9>는 측정 대상 주택들의 기밀성능을 종합하여 나타낸 것이다.

표 3-9. 측정 대상 주택 기밀성능

	CFM50 ⁸⁾	ACH50	ACH 50 N ¹⁰⁾	EqLA ⁹⁾ (cm ² /m ²)
ALT-1	122	0.46	0.023	0.18
ALT-2	278	1.28	0.064	0.47
ALT-3	186	1.22	0.061	0.58
ALT-4	222	0.71	0.0355	0.28

블로어도어 테스트 결과의 상호 비교 및 건물의 기밀성능 평가를 위해 일반적으로 많이 활용되는 지표인 CFM50, ACH50, EqLA를 각 실측대상에서 도출하여 <표 3-9>에 정리하였다.

<표 3-9>에서 보듯이 ALT-1은 패시브하우스 기밀성능 기준을 충족시키는데 반면, ALT-2, ALT-3, ALT-4는 독일 패시브하우스 기준에 만족하지 못하였다. 하지만 일반적인 단독주택의 기밀성 $16.4h^{-1}$ 에 비해 10배 이상의 우수한 기밀성능을 보이고 있으며, 캐나다의 R-2000의 $1.5h^{-1}$ 기준과 미국의 ASHRAE Standard 119-1988의 침기등급의 기준과 비교하였을 때 A~B사이의 기밀성능 기준을 충족하는 것으로 나타나 시공자의 주의를 환기한다면 패시브하우스 기준에 도달할 것으로 보인다.

8) CFM(cubic feet per minute) : 건물 내부를 송풍기로 가압 또는 감압하여 ±50Pa를 유지한 상태에서 송풍기로 유입 또는 유출되는 풍량을 ft^3/min (CFM)의 단위로 나타낸 것

9) 상당누기면적 : 10Pa에서 발생하는 누기량과 같은 양의 공기가 새는 얇은 판위의 구멍

10) N(침기율 교정상수) : 기상조건, 건물의 높이, 차폐물의 영향, 틈새 형태에 따른 기준에 따라 변하지만 일반적으로 20을 기준으로 계산

기밀테스트를 통해 대상 주택들의 측정된 기밀성능을 미국의 ASHRAE Standard 119-1988(Air Leakage Performance for Detached Single Family Residential Building, 1998)의 등급으로 나누어 확인하기 위해서는 식 (1)을 이용하여 건물의 표준 침기 면적(Normalized Leakage Area)인 L_n 을 구하고 값을 <표 3-10>에 대입시켜 건물 침기등급을 10단계로 구분하여 확인할 수 있다.¹¹⁾

$$L_n = 1000 \frac{L}{A} \left(\frac{H}{H_0} \right)^{0.3} \quad \text{식 (1)}$$

L_n : 표준 침기 면적(m²)

L : 유효 침기 면적(m²)

(실내외의 압력차 4Pa 상태에서 건물과 동일한 침기량을 갖는 노즐의 면적)

H_0 : 1층 기준 높이 2.5m

H : 건물높이(m)

A : 바닥면적(m²)

표 3-10. ASHRAE Standard 119-1988 침기등급 비교

최소 L_n	최대 L_n	ACH50	침기등급
0	0.10	1	A
0.10	0.14	2	B
0.14	0.20	3	C
0.20	0.28	5	D
0.28	0.40	7	E
0.40	0.57	10	F
0.57	0.80	14	G
0.80	1.13	20	H
1.13	1.60	27	I
1.60	-	-	J

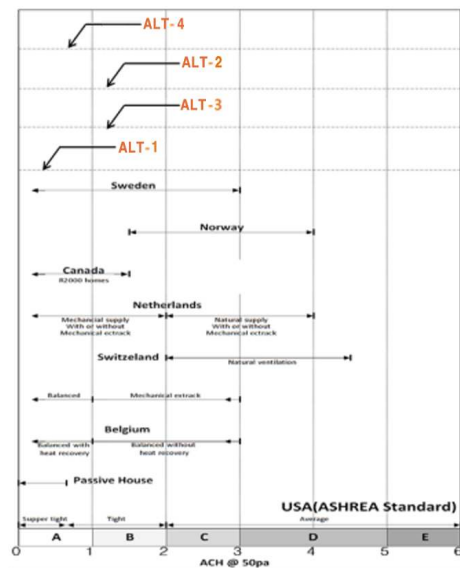


그림 3-9. 측정데이터의 국제 기준 비교

11) 김원, 고층건물 기밀성능 향상을 위한 시공방안 개선 연구, 고려대학교 석사논문, pp21~22, 2011.08

측정 대상 주택들의 기밀도를 <표 3-10>에 비교하여 성능을 살펴보면 ALT-1, ALT-4는 A등급, ALT-2, ALT-3는 B등급으로 상위등급인 것을 확인 할 수 있다.

<그림 3-9>을 통해 각 대상 주택들의 기밀성능이 독일 패시브하우스 기준을 제외한 다른 국가의 기밀성능 기준에는 충족하는 모습을 볼 수가 있었다.

표 3-11. 측정 대상 주택들의 침기 및 누기가 발생하는 부위

구분	문	창호	지붕 구조체	창호+외벽	콘센트	환기 배관	외벽+지붕
ALT-1	×	○	○	×	×	×	×
ALT-2	○	○	×	○	○	○	×
ALT-3	○	×	○	×	×	×	○
ALT-4	○	○	○	×	×	×	○

<표 3-11>은 기밀층 형성시 주의해야 하는 부위(그림 3-7 참고)를 참고로 하여 측정 대상 주택들의 블로어도어 테스트 시에 대표적 부위들에서 침기가 발생하는 여부에 따라 체크한 것이다.

ALT-1은 약간의 창호 압축력 부족과 지붕구조체의 기밀하지 못한 시공으로 침기가 발생하였지만 중량형 건물로 일정성능 이상의 기밀성을 보였다. ALT-2는 문과 창호의 자체 기술력 부족과 창호와 외벽의 결합부분, 콘센트, 환기 배관의 기밀하지 못한 시공으로 인해 침기가 발생하여 기밀성능이 저하되는 원인으로 판단된다.

ALT-3는 목조 시공자들의 시공부분 중요성 인식 부족과 낮은 숙련도로 인해 기밀성이 떨어져 지붕 구조체 부위에서 침기가 발생한 것으로 사료되며 지붕과 외벽의 접합부위에서 틈새가 발생되어 기밀성능을 저하시켰다. ALT-4는 지붕구조체와 외벽과 지붕의 접합부위에서 틈새로 인해 침기가 발생되었으며, 문과 창호 자체 기술력 부족으로 기밀하지 못한 결과를 가져왔다.

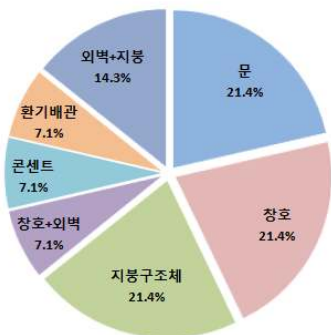


그림 3-10. 실제 측정을 통한 침기 발생 부위별 면적비

측정 대상 주택들의 침기 및 누기의 발생 부위를 참고로 침기 위치별 침기부위를 보면 <그림 3-10>과 같다.

4. 결론

본 연구는 블로어도어 테스트(Blower Door Test)를 통해

패시브 디자인을 적용한 주택에서 기밀성능을 비교·분석하여 측정된 기밀성을 토대로 기준에 미달되는 이유를 분석하고 차후 건물의 기밀성능을 높이며 최종적으로 건물 에너지를 절감하는데 목적이 있다. 블로어도어 테스트를 통해 얻어진 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 대상 주택들의 기밀도는 ALT-1은 $0.46h^{-1}$, ALT-2는 $1.28h^{-1}$, ALT-3는 $1.22h^{-1}$ ALT-4는 $0.71h^{-1}$ 로 측정되었으며, ALT-1을 제외한 ALT-2, ALT-3, ALT-4는 독일 패시브하우스 기준에는 만족하지 못했지만 캐나다의 R-2000 기준과 미국의 ASHRAE Standard 119-1988의 침기등급 기준에는 상위 등급의 수준을 보여 비교적 우수하게 시공된 것으로 판단된다.

둘째, 기밀도 형성 시 가장 주의해야 하는 부위별로 침기의 발생여부는 문과 창호의 자체 압축력 부족과 기밀처리가 부족한 지붕구조체, 창호와 외벽의 결합부분, 외벽과 지붕의 결합부분, 콘센트 및 환기배관에서 발생하는 것으로 확인되어 구조체와 구조체가 만나는 부분과 설비배관공사의 중요성이 확인되었다.

셋째, 패시브 디자인을 적용한 주택의 시공과정에서 시공자의 기밀성에 관한 인지도의 부족은 건물의 기밀성능을 저하시키는 요인 중 하나로 사료되므로 시공자의 교육이 중요하다고 판단된다.

따라서 패시브 디자인을 적용한 주택의 기밀성능 향상을 위하여 다음과 같은 노력이 필요하다.

첫째, 기밀성능이 확인된 문과 창호 등의 자재를 선정한다. 둘째, 시공 과정 속에서 1차적인 기밀테스트를 통해 기밀성능을 측정하고 침기 및 누기의 발생위치 여부를 확인하여 기밀보강 작업을 실시한다.

셋째, 각 주요부위 기밀작업에 대한 시공자의 기밀성 인식 교육도 함께 이뤄진다면 에너지 절감을 위한 기밀성능의 기준에 충족할 수 있을 것이라 판단된다.

추후 패시브 디자인을 적용한 주택의 시공과정에서 본 논문에서 확인한 침기 및 누기가 많이 발생하는 부위를 참고하여 기밀한 작업을 통해 패시브하우스의 기밀성능이 향상될 것이라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 연구비 지원(과제번호 20103044)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김주환, 패시브하우스 계획 및 시공방안에 관한 연구, 세명대학교 대학원 석사학위논문, 2012. 02
2. 권오현 외 4명, Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀도 실측 사례 분석, 대한건축학회 논문집 계획계 v.26 n.07, 2010. 07
3. 박원석, 주거용건물의 기밀성능 기준설정을 위한 침기량 실측에 관한 연구, 호서대학교 대학원 석사학위논문, 2003
4. 박원석 외 1명, 신축공동주택의 기밀성능 실측에 관한 연구,

- 한국생태환경건축학회 논문집, vol.3 no.3, 2003
5. 신우철, 고기밀, 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 논문집 vol.25 no.4, 2005. 12
 6. 신현국 외 1명, 건물의 기밀성능 측정에서의 가감압법 테스트 조건 비교, 대한건축학회 논문집 계획계, vol.27 no.8, 2011
 7. 윤중호 외 4명, 충청지역 단독주택의 기밀성능 실측 연구, 한국태양에너지학회 논문집 vol.28 no.5, 2008. 10
 8. 이승복, 공동주택의 기밀성능 평가 및 에너지 절감효과 분석, 한국태양에너지학회 논문집, vol.15 no.3, 1995
 9. 조경민, 기존 농촌주택과 패시브형 주택의 에너지 요구량 비교 분석, 한국생태환경건축학회 논문집 vol.11 no.4, 2011. 08

투고(접수)일자: 2013년 2월 28일

수정일자: (1차) 2013년 4월 11일

게재확정일자: 2013년 4월 11일