

농촌주택의 단열 재료별 현장 적용을 위한 실험 연구

Experimental Research Application to each Types of Insulation Materials in Rural Houses

권순찬* 김은자**
Kwon, Soon-Chan Kim, Eun-Ja

Abstract

Life quality in farming areas is declining these days on account of decrease in population with the outflow of young generations, advent of aging society, and also lack of social and physical infrastructure. To reverse this, the central and local governments have been devising policies in many ways; however, the vulnerable class in farming area suffering from financial difficulty is not supported with that properly. The results of applying insulation materials applicable to rural houses, EPS, e-board, and glass wool, actually to rural houses are summed as follows. EPS is the most inexpensive among the three installations in terms of material cost and expenses. The indoor and outdoor temperature difference increased from 0.9°C to 2.5°C, and the temperature change reduced as 0.04°C. With e-board, the indoor and outdoor temperature difference increased from 3.3°C to 7.5°C; however, the temperature change increased as 0.09°C. Unlike the other two methods, glass wool requires the additional installation of wooden frames. The material cost is highest, and the indoor and outdoor temperature difference increased from 1.1°C to 8.0°C, and the temperature change reduced as 0.01°C. According to the results of measuring temperature, glass wool's temperature difference is measured to be the highest, but temperature change is found to be the most effective in EPS. Among the three insulation methods, EPS is the most economically advantageous as the material supply is easy and the cost is low. The material is easily processible, so ordinary town residents can install it easily, and it is effective at improving insulation performance, too. But this method cannot be applied when the house has walls that are not even. Also, as the insulator is thick, after the installation, the living space may be narrower as a result.

주요어 : 농촌마을, 농촌주택, 단열개선, 현장조사, 온도, 시공성, 경제성, 단열성능

Keywords : Rural Villages, Rural Houses, Improved Thermal Insulation, Survey, Temperature, Workability, Economy, Insulation performance

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

우리나라는 해방이후 대도시 위주의 도시정책 전개로 인해 대도시는 고용과 교육, 여가, 문화 활동을 증대시키는 각종 기능이 입지하게 되면서 농촌인구의 지속적 유입, 출생인구의 증가 등으로 도시는 크게 증대하였다.¹⁾

반면 농촌 지역은 젊은 인구의 유출 등에 의한 인구감소, 고령화 사회의 도래, 사회적·물리적 기반시설의 미확보 등으로 인하여 농촌에서의 삶의 질은 더욱더 악화되었고, 이에 정부나

지자체에서는 여러 가지 정책을 마련하여 실시하고 있으나 대부분 기본적으로 경제력이 어려운 농촌 취약계층은 지원을 받지 못하고 있는 실정이다.²⁾

농어촌주택은 70년대 새마을운동의 일환인 농촌지붕개량사업부터 시작하여 부엌, 변소, 담장개량 등 부분적인 주택개량사업으로 진행되다가, 1995년 농어촌주택개량촉진법에 의한 농어촌주거환경개선, 취락구조 개선사업으로 발전하는 등 많은 변화를 겪어 왔다. 초가지붕을 걷어내고 없었던 슬레이트, 함석지붕 시기를 지나 80~90년대 붉은 벽돌주택, 2000년 이후 다양한 건강주택의 요구와 함께 다시 노후 석면 슬레이트지붕 개량의 시기를 맞이하고 있다.³⁾

지금까지 추진된 건축물 에너지 저감방안과 관련된 연구는 도시지역의 공동주택이나 대규모 상업시설, 오피스 등 에너지를 다량으로 소비하는 건축물을 대상으로 연구가 주로 이루어져왔을 뿐 농촌주택에 대한 연구는 미비한 편으로 농촌주택의 단열 개선을 위한 노력이 필요하다.

* 농촌진흥청 국립농업과학원 연구원, 공학박사
** 농촌진흥청 국립농업과학원 농업연구관
(Corresponding author : Division of National Institute of Agricultural Science, ldr333@korea.kr)

본 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 연구과제 (과제번호 : PJ01098802)의 지원에 의해 이루어진 것임

1) 문동일·김윤학, 소도시 중심가의 입지시설 및 이용특성에 관한 연구 -영암읍 중심가로변을 대상으로-, 한국농촌건축학회, 2011, 13(3), pp.61-72

2) 김윤학, 거주환경개선을 위한 농촌주택 개보수 인식에 관한 연구, 한국농촌건축학회, 16(3), 2014, pp.27-36

3) 류연수 외 4인, 평창 농촌주택 건축시기별 난방에너지 요구량 분석, 한국태양에너지학회, 33(1), 2013, pp.136-143

따라서 본 연구는 농촌지역을 산촌형, 일반농촌형, 도시근교형으로 구분하고 각 지역의 주택에 시공성과 경제성을 고려한 3가지 단열재를 시공한 후 공사전후의 온도변화를 측정 비교하여 재료별 단열성능 효과를 분석함으로써 앞으로의 농촌주택 거주환경의 개선을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 선행연구 고찰

농촌주택의 단열 성능 개선을 위해 먼저 농촌주택의 단열 재료에 대한 선행연구를 분석하였다. 최근 5년간 농촌과 단열에 관련된 연구는 2건이었고 거기에서도 단열 재료의 연구는 1건으로 농촌을 중심으로 한 단열재료 관련 연구가 부족하였다. 따라서 주택과 단열로 범위를 넓혀서 선행연구를 살펴본 결과 총 40건의 연구가 진행되었고 이 중에서 에너지효율평가, 환기, 결로 저감, 현황조사 등 단열 재료가 주제가 아닌 연구를 제외한 21건의 연구를 대상으로 선행연구분석을 진행하였다.

Table 1. Insulation material applied in previous studies

재료	부분	wall	window	ceiling	exterior
그라스울		⑤ ①			
EPS		① ● ①			
왕겨 ⁴⁾		②			
에어로졸 ⁵⁾		①			
열반사단열재				●	
진공단열재		②			
로우이 유리 ⁶⁾			② ●		
진공유리 ⁷⁾			①		
에어캡			●		
복층유리			●		
삼중유리		①			
단열도료 ⁸⁾					①

※ ○ : 시뮬레이션, ● : 현장실험, □ : 계획

21건의 연구에서는 벽체의 단열 재료로 생태재료인 왕겨를 비롯하여 그라스울, EPS(비드법)⁹⁾ 등 7가지를 사용하였고 창호 재료로는 Low-e유리, 진공유리, 복층유리 등 5가지의 재료를 사용하여 총 12개의 단열 재료를 다루고 있었다. 벽체의 단열성능 개선을 위한 연구에서 사용된 재료는 그라스울과 EPS가 6건으로 가장 많이 다루어 졌고 다음으로 왕겨와 진공단열재가 2건의 순으로 빈도가 높았다. 창호의 재료로는 Low-e유리의 빈도가 높게 나타났다. 그라스울과 EPS는 현장의 단열공사에서 실제로 많이 쓰이는 재료인 만큼 많은 연구에서 이를 이용한 단

4) 김은진·염동우·이규인, 농촌형 그린홈 계획을 위한 생태재료 ‘왕겨’의 단열성능 실험 연구, 대한건축학회, 28(8), 2012, pp. 45-54
 5) 권영철, 공동주택 단열재료로서의 에어로젤 적용 연구, 대한건축학회 지회연합회, 8(1), 2012, pp.559-564
 6) 이나은 외 3인, 로이유리 발코니 창호의 단열성능에 따른 공동주택 건축물 에너지효율등급 평가 연구, 한국태양에너지학회, 32(2), 2012, pp.58-63
 7) 송수빈·손범구·정승문, 진공유리의 단열 성능과 건물 에너지 절감 효과, 한국태양에너지학회, 32(2), 2012, pp.139-144
 8) 홍봉재, 단열 요구조건을 고려한 차열도료의 성능 분석, 청운대학교 건설환경연구소, 7(2), 2012, pp.1-9
 9) 비드법은 발포 폴리스티렌(Expanded Poly Styrene)으로 줄여서 EPS로 불리고 흔히 스티로폼이라고도 알려져 있다. 어떻게 발포하는지에 따라 단열성능이 달라지며 비드법 1종, 2종이 있다.

열성능 평가 및 분석이 있었다. 그라스울을 대상으로 한 6건의 연구 중에서 5건이 프로그램을 이용한 시뮬레이션 검증을 주로 사용하였고 EPS를 대상으로 한 6건의 연구 중에서는 4건이 실험이나 현장 모니터링 등 현장검증을 연구방법으로 사용하고 있었다<Table 1>.

따라서 본 연구에서는 단열 연구 재료로 많이 사용하는 그라스울과 EPS 중에서 모델이나 실험검증으로 사용되는 EPS를 중심으로 단열 재료들이 실제 농촌주택의 현장에 적용할 경우에 나타나는 단열성능의 효과를 알아보았다.

1.3 연구대상 및 방법

농촌주택의 단열은 외단열 보다는 내단열을 중심으로 진행하였고 이에 맞는 단열재를 선정하기 위하여 선행연구의 분석 결과 단열성능을 가지면서 농촌거주자가 쉽게 구입할 수 있고 시공이 용이한 재료인 EPS, 일반적으로 단열시공의 재료로 많이 사용하고 있는 그라스울 그리고 경제성을 고려한 이보드 3가지로 재료를 선정하였다.

Table 2. Comparison of insulation materials

	규격	열전도율 (w/m·k)	밀도 (KG)	압축강도 (n/cm)
EPS	900mm×600mm×80mm	0.029	20	13
이보드	900mm×2400mm×50mm	0.031	30	32
그라스울	381mm×2400mm×88mm	0.046	9	-

단열재료로 사용될 EPS는 900mm×600mm×80mm 크기로 비드법 보온판 2중 3호이고 열전도율은 0.029 w/m·k, 밀도 20KG, 압축강도 13 n/cm이다. 이보드는 900mm×2400mm×50mm 크기로 압출보온판 1호+PP3T이고 열전도율 0.031 w/m·k, 밀도 30KG, 압축강도 32 n/cm이다. 그라스울은 종이재질의 한쪽 면에 섬유조직이 붙어 있는 381mm×2400mm×88mm 크기로 열전도율 0.046 w/m·k, 밀도 9K이고 다 등급으로 분류된다<Table 2>.







적용 대상은 전북 완주군 고산면과 비봉면의 주택 3곳으로 고산면 양야리 주택은 인풍마을에 위치하고 있고 북쪽으로 양화저수지가 있으며 주변으로 서방산이 둘러싸고 있는 산촌형 마을의 주택이고 비봉면 봉산리 주택은 월촌 마을에 위치하며 주택 앞에는 경지와 뒤편에 작은 언덕이 있는 일반농촌형 마을의 주택이며 고산면 읍내리 주택은 고산면사무소가 있는 읍내외곽에 위치한 도시근교형 마을의 주택으로 구분된다.

단열방법은 내단열로 적용되기 때문에 단열재의 두께로 인한 실내 공간이 줄어드는 것을 고려하여 가장 얇은 이보드는 비봉면 봉산리의 일반농촌형 마을 주택, 단열재 부착을 위한 목재틀을 제작 설치해야하는 그라스울은 고산면 읍내리의 도시근교형 마을주택, 그리고 사용이 쉬운 EPS는 고산면 양야리의 산촌형 마을 주택에 적용하였다¹⁰⁾ <Table 3>.

단열 시공한 주택의 단열성능 향상을 확인하기 위하여 공사 전과 후의 24시간 실내와 실외의 온도변화를 측정하였고 추가로 열화상 이미지를 촬영하였다. 측정 기간은 8월부터 10월까지 진행되었고 공사 전은 2016년 8월 9일부터 9월 5일, 공사 후는

10) 대상 주택 현장적용은 완주군 따뜻한 방한 칸 프로젝트의 경험에 있는 ‘전환기술 사회적 협동조합’의 협조를 얻어 진행되었다.

Table 3. Information of study subject

유형	산촌형	일반농촌형	도시근교형
지역	고산면 양야리	비봉면 봉산리	고산면 읍내리
단열재료	EPS	이보드	그라스울
신축년도	1957	1930	1950년
구조	시멘트블록	목조	시멘트블록
지붕재료	슬레이트	합석	시멘트기와
항공사진			
주택전경			

10월 12일부터 17일까지이다. 온도 변화 측정은 testo435를 사용하여 측정 시간으로부터 다음날 같은 시간까지 총 하루의 온도를 측정하였다. 실외의 온도는 바닥과 외벽에서 1m 정도 떨어진 위치에 센서를 설치하였고 실내는 실제로 사용하는 주택을 대상으로 하기 때문에 내벽에 치우쳐 설치하여 측정하였다. 열화상이미지는 testo 875를 사용하여 벽, 바닥, 천장의 이미지를 촬영하였다.

2. 현장 적용 단열 기술11)

2.1 EPS를 이용한 단열 기술

EPS를 이용한 단열기술은 산촌형 마을에 있는 고산면 양야리 주택에 적용되었다. 대상주택은 시멘트 벽돌조에 맞배지붕의 슬레이트 형태로 평면구성은 가운데 거실을 중심으로 우측에 방 두 칸과 좌측 방 한 칸이 배치되어 있고 거실 위쪽으로 창고가 위치해 있었다. 단열 시공할 공간은 3.1m×3.0m의 약 9.3㎡로 안방으로 사용하고 있다.

여기서 사용한 EPS는 에어폴로 900mm×600mm×80mm 규격으로 마감에 용이하기 위해 중앙에 홈이 있으며 상하부분에 결합이 가능하도록 요철모양으로 되어있다. 일반스티로폼과 달리 1㎡당 1,000여개의 미세한 공기구멍이 타공되어 있어 습기 배출로 결로 방지에 유리하다<Fig. 1>.

EPS를 이용한 단열시공 과정은 먼저 설치하고자 하는 방의 도배 및 장판을 철거하고 EPS 단열재를 벽과 천장에 부착하기



Fig. 1. EPS(Air pole)

위하여 집착제 역할을 하는 본드폼을 뿌려 바른다. EPS 상하에 요철의 모양이 있어 단열 재료를 보다 긴밀하게 시공 할 수 있고 중앙 홈 부분에는 나무판을 끼워 넣어 가로방향으로 고정을 보완하고 석고보드 마감을 단단하게 고정할 수 있다. EPS에 부착 후 단열재 사이나 바닥과의 사이 틈에는 전용 폼을 채워 빈틈이 없게 한다. 이후에는 석고보드로 마감하고 벽체는 일반 합지 벽지를 바르고 바닥은 모노륨 장판을 깔아 마무리한다<Fig. 2>.

고산면 양야리 주택은 지붕이 경량목구조에 슬레이트 마감으로 되어 있어 바닥이나 벽 보다는 천장에서의 열 유입이 심각한 상황이었다. 오후 1시 30분경에 촬영한 천장 열화상 분석 결과 최고 39.7℃까지 온도가 측정되었으며 방에 서있으면 얼굴로 열기가 느껴질 정도로 천장에서 많은 열의 유입되고 있고 바닥의 모서리는 24.5℃로 바닥 모서리에서는 열이 빠져나가고 있는 것을 확인 할 수 있었다<Fig. 3>.

11) 농촌주택의 단열기술 시공은 2015년 완주군에서 시행한 '따뜻한 완주 방한 칸 프로젝트'에서 공사를 진행했었고 올해도 진행 계획이었던 '전환기술사회적협동조합'과 적용 대상 주택과 단열재료 등의 협의를 거쳐 시공되었다.



Fig. 2. Insulation work using styrofoam

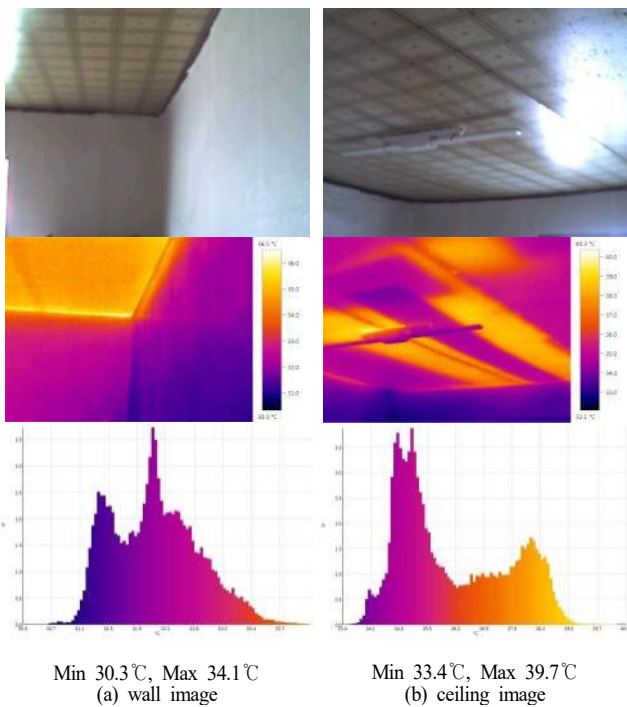


Fig. 3. Thermal imaging of wall and ceiling

2.2 이보드를 이용한 단열 기술

이보드를 이용한 단열기술은 일반농촌형 마을에 있는 비봉면 봉산리 주택에 적용되었다. 대상주택의 주구조는 목조이지만 주택 정면으로 적벽돌을 이용하여 증축이 되었고 평면구성은 거실을 중심으로 아래쪽에 증축이 되면서 좌우로 작은 방이 있고 좌측에 안방과 우측에 주방이 있다.

단열 시공한 공간은 3.0m×1.8m의 약 5.4m²에 손녀가 사용하는 방으로 벽돌을 사용하여 증축된 공간이어서 외벽의 조적벽체에 단열이 취약하였다.

단열재로 사용된 이보드는 압축발포스티로폼 단열재에 폴리프로필렌 표면 판의 합지로 구성되어 있고 900mm×2400mm 크기의 50mm 두께를 사용하였고 한쪽 면에 폴리프로필렌 합지가 부착되어 있어 시공 후 마감재 부착이 용이했다<Fig. 4>.



Fig. 4. e-board



Fig. 5. Insulation work using e-board

이보드를 이용한 단열 시공법은 기존의 내장재를 철거하고 본드 폼을 이보드에 뿌려 벽에 접착한다. 접착 순서는 벽면의 단열재가 천장의 단열재를 받쳐주는 형식으로 천장에 이보드를 우선으로 부착한다. 이보드는 EPS와 달리 조각을 맞추기 보다는 큰 판을 부착시키는 방법으로 진행하였고 이보드 사이에 벌어진 틈이 없도록 폼으로 메워준다. 이후 벽체는 석고보드와 일반 합지 벽지를 바르고 바닥은 모노륨 장판을 깔아 마무리한다 <Fig. 5>.

비봉면 봉산리 주택은 시공과정에서 방의 내벽이 적벽돌이 노출되어 마감된 것으로 보아 현재의 방이 2차 증축으로 확보된 공간으로 볼 수 있고 외벽 쪽의 기존 단열은 약 2mm의 얇은 스티로폼이 붙어 있어 내부공간의 온도 유지가 거의 없는 것을 확인 할 수 있었다.

열화상촬영 결과 벽면 온도는 평균 31°C로 측정되었고 당시 외부온도가 평균 30°C이었던 것을 감안한다면 외부와 거의 비슷한 온도인 것을 알 수 있었다. 바닥의 모서리 부분을 보면 맞닿는 부분을 따라서 특히 모서리부분에서 온도가 주변보다 6°C가 떨어지는 것으로 측정되어 열이 빠져나가는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 증축을 하면서 벽돌과 바닥과의 기밀성이 떨어지기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다 <Fig. 6>.

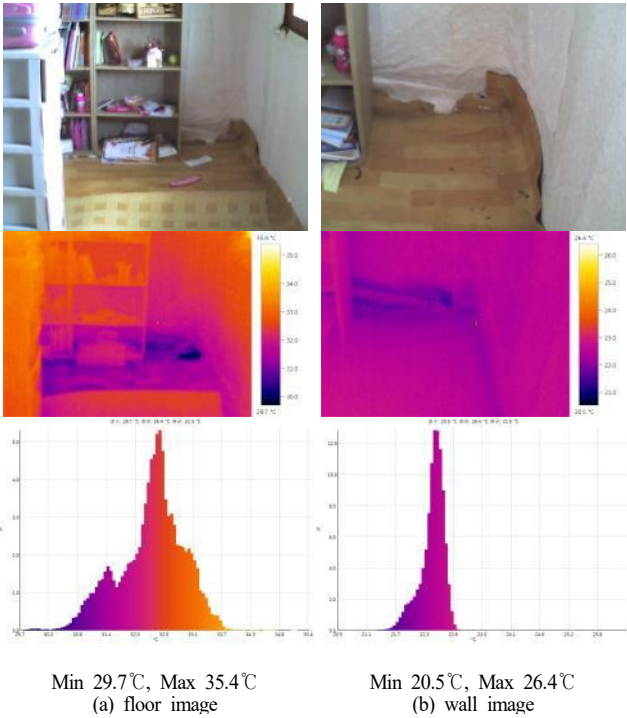


Fig. 6. Thermal imaging of the floor and walls

2.3 그라스울을 이용한 단열 기술

그라스울을 이용한 단열기술은 도시근교형 마을의 고산면 읍내리 주택에 적용되었다. 대상주택의 구조는 시멘트 벽돌조에 시멘트기와의 우진각지붕형태로 평면구성은 거실 좌측으로 부엌과 방이 있고 위쪽과 오른쪽으로 방이 두 칸 붙어 있으며 창고도 연결되어 있으며 정면으로 증축된 것으로 보인다. 단열시공한 공간은 3.4m×3.0m의 약 10.2㎡로 안방으로 사용하고 있다. 방 앞쪽에 거실이 있고 양옆으로 방이 붙어 있으며 뒤쪽으로는 창고가 연결되어 있는 평면구조이다.

단열제로 사용된 그라스울의 종류인 인슐레이션 단열제는 얇은 종이재질의 한쪽 면에 섬유조각이 붙어 있고 여기서는 R-11 규격을 사용하였다. 약 381mm×2400mm 크기의 88mm 두께로 천과 같은 유연성이 있어 재단이 용이하다<Fig. 7>.



Fig. 7. Glass wool

그라스울을 이용한 단열 시공법은 앞의 EPS나 이보드를 이용한 방법과는 달리 기존의 내장재를 철거하지 않고 시공이 가능하다. 먼저 2×4의 목재를 사용하여 단열재의 폭인 380mm만큼의

간격으로 목조로 된 틀을 제작하여 목조 틀을 3면의 벽과 천장에 벽체, 천장 순으로 설치한다. 목조 틀을 설치하는 큰 이유는 기존의 벽이 평평하지 않고 단열재도 딱딱한 재질이 아니기 때문에 수평을 맞추기 위해 위함이다. 목조 틀 설치 후에는 목재 사이에 그라스울 단열재를 채워 넣는데 이때 조금 남는 듯 하게 재단하여 단열재가 목재 사이에 꽉 찰 수 있도록 하는 것이 중요하다. 단열재 충전 후에는 석고판을 부착하고 폼으로 틈새를 메운다. 그라스울을 이용한 단열 시공은 다른 2가지 방법과 달리 목조 틀을 짜고 설치하는 과정이 필요하기 때문에 경험이 없는 일반주민이 직접 실행하기에는 어려움이 있다<Fig. 8>.



Fig. 8. Insulation work using Glass wool

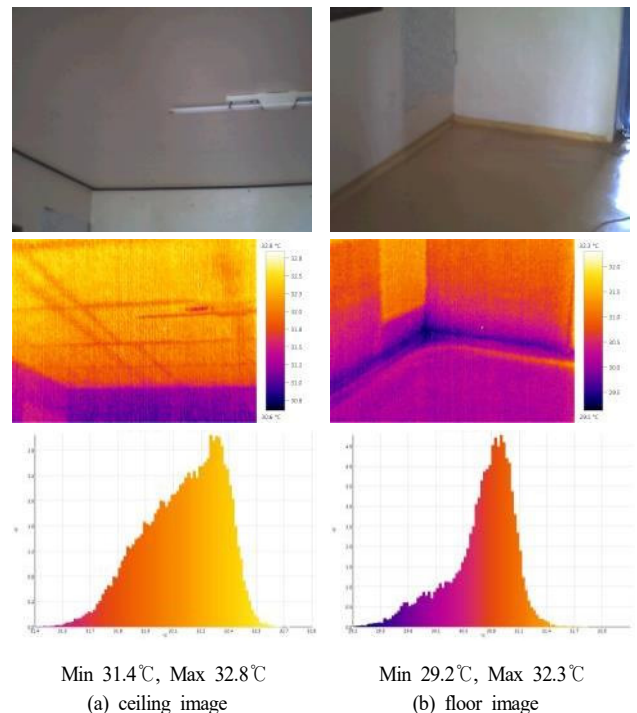


Fig. 9. Thermal imaging of the floor and ceiling

읍내리 주택은 방과 창고로 둘러싸여 있는 외기와 직접 접촉하고 있지 않은 안방이어서 그런지 급격한 변화는 없었으나 열화상촬영 결과 천장을 달아맨 부재를 따라 열교환상이 확인되었고 바닥과 벽이 만나는 부분은 열이 빠져나가고 있었으며 천장

과 벽이 만나는 부분은 주변보다 온도가 높아 열이 유입되는 것을 확인 할 수 있었다<Fig. 9>.

3. 단열 기술 적용 결과 분석

3.1 EPS 적용 결과

EPS 두께 50mm를 사용하여 단열 시공한 주택의 온도 측정은 공사전 8월 31일- 9월 1일, 공사후 10월 16일-17일 각각 하루동안의 온도변화를 측정하였다. 그 결과 온도변화를 보면 공사 전 주택의 실외 온도는 28.6℃ ~ 22.0℃로 평균 25.1℃이고 실내온도는 26.2℃ ~ 24.8℃로 평균 24.2℃가 측정되었고 실내외 온도가 0.9℃의 차이를 보였다. 실외온도가 6.6℃의 변화를 보일 때 실내온도는 1.5℃의 변화가 측정되었다. 공사 후 실외온도는 20.5℃ ~ 15.5℃로 평균 16.0℃이고 실내온도는 18.0℃ ~ 18.9℃로 평균 18.5℃가 측정되었고 실내외 온도가 2.5℃의 차이를 보였다. 실외온도가 5.0℃의 변화를 보일 때 실내온도는 0.9℃의 변화가 있었다. 공사 전보다 실내외 온도차가 증가 되었고 공사 후 실내외 온도가 실외외 온도에 영향을 덜 받아 온도 변화가 적고 일정 온도로 유지되고 있는 것을 볼 수 있다<Fig. 10>.

공사전후 열화상사진을 비교해 보면 공사 전 실내 천장 온도가 33.4℃ ~ 40.3℃로 평균 36.1℃로 측정되었고 최고 온도가 40℃까지 올라가서 외부의 온도가 내부에 많은 영향을 미치고 있었다. 이는 외부의 온도가 떨어지게 되면 내부의 온도가 외부로 뺏길 수 있다는 것을 유추할 수 있다. 벽체 온도는 30.3℃ ~ 34.1℃로 평균 32.1℃로 나타났고 온도 변화가 천장은 6.9℃, 벽체는 3.8℃로 같은 부위에서의 온도변화 폭이 높게 나타났다. 공사 후는 천장이 12.3℃ ~ 16.0℃로 평균 15.1℃로 나타났고 벽체

는 14.0℃ ~ 15.1℃로 평균 14.7℃로 나타났다. 측정된 온도 값은 외부 온도에 따라 다르게 나타난다고 볼 수 있으나 온도변화가 천장은 3.7℃, 벽체는 1.1℃로 공사 전보다 확연히 낮게 나타난 것으로 보아 외부 온도에 따른 변화가 작아진 것을 알 수 있다. 천장과 벽체에서 EPS 단열재의 이음부분이 낮은 온도의 선형의 형태로 관찰되었다<Fig. 11>.

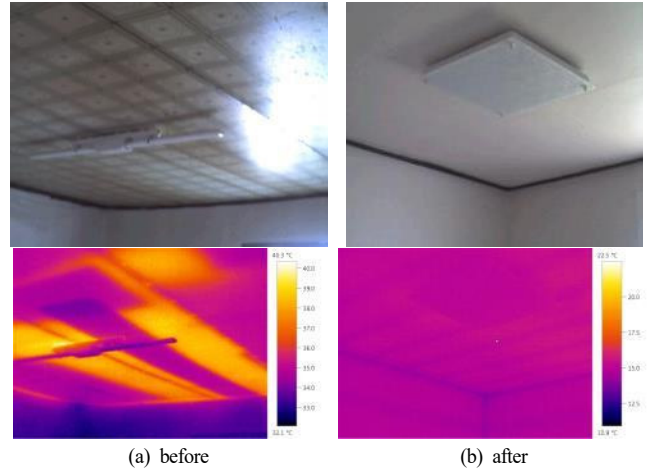


Fig. 11. Thermal imaging before and after construction

3.2 이보드 적용 결과

이보드 두께 50mm의 단열재를 사용하여 시공한 주택의 온도 측정은 공사전 9월 2일-3일, 공사후 10월 12일-13일 각각 하루동안의 온도변화를 측정하였다. 그 결과 온도변화를 보면 공사 전 주택의 실외 온도는 19.2℃ ~ 25.3℃로 평균 21.5℃이고 실내

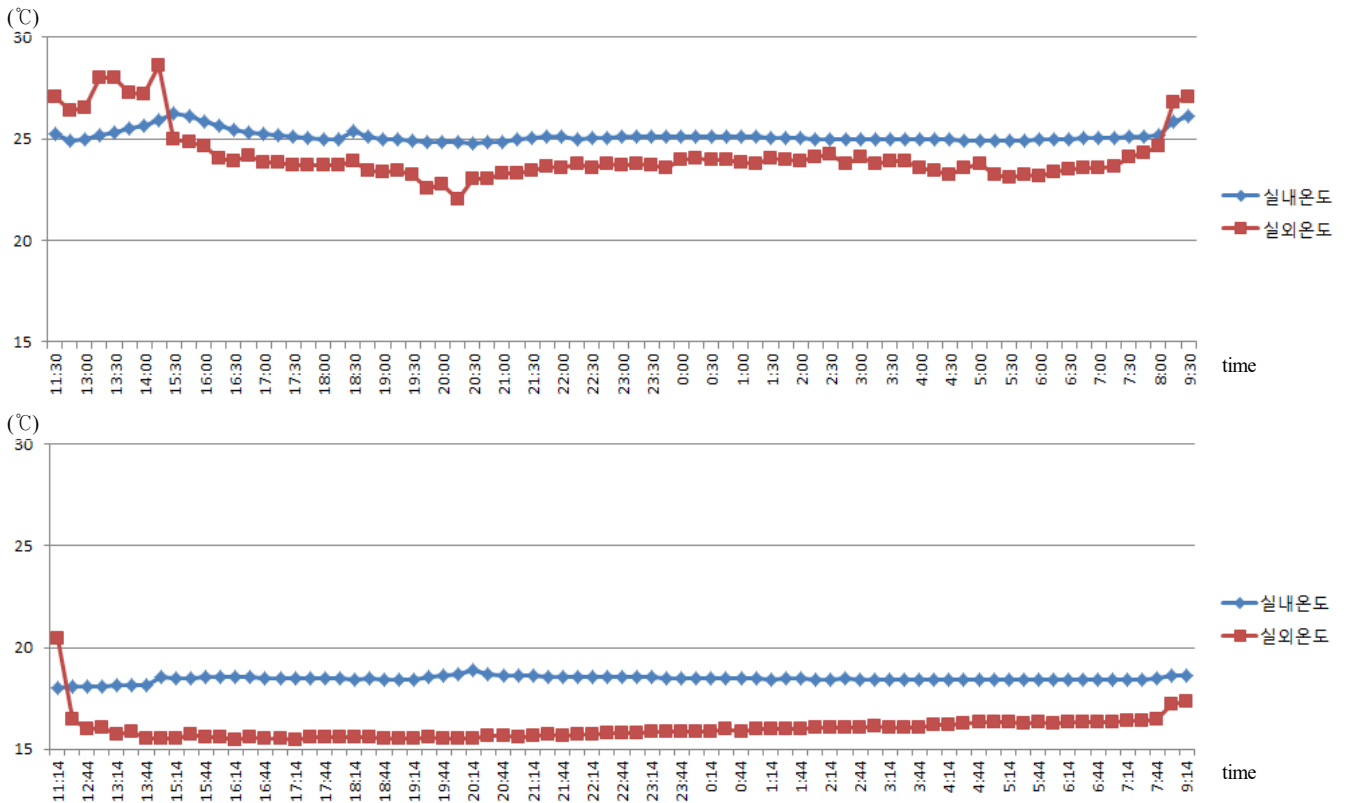


Fig. 10. Temperature change before(up) and after(down) construction(EPS)

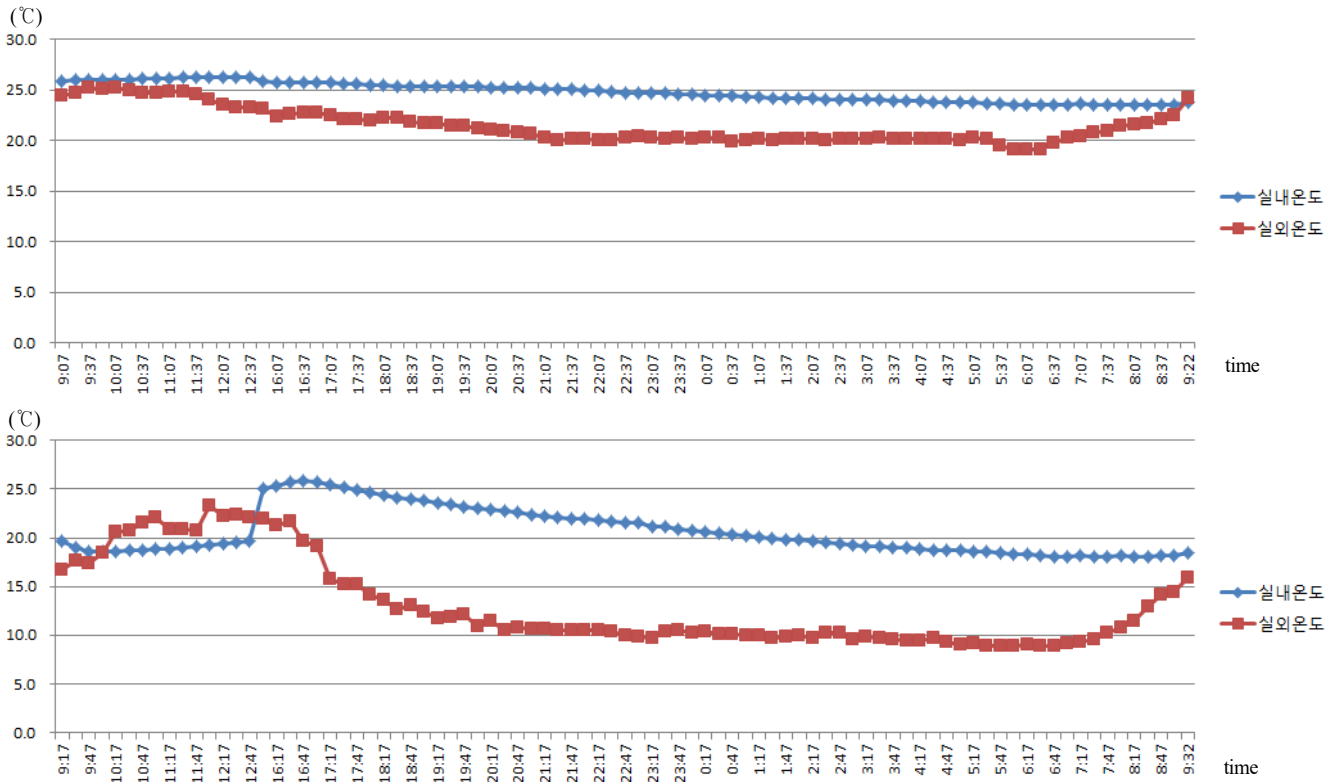


Fig. 12. Temperature change before(up) and after(down) construction(e-board)

온도는 23.5°C ~ 26.3°C로 평균 24.8°C가 측정되었고 실내의 온도가 3.3°C의 차이를 보였다. 실외온도가 6.1°C의 변화를 보일 때 실내온도는 2.8°C의 변화가 측정되었다. 공사 후 주택의 실외온도는 8.9°C ~ 23.4°C로 평균 13.1°C이고 실내온도는 18.1°C ~ 25.9°C로 평균 20.6°C가 측정되었고 실내외의 온도가 7.5°C의 차이를 보였다. 실외온도가 14.4°C의 변화를 보일 때 실내온도는 7.8°C의 변화가 측정되었다. 공사 전보다 실내의 온도가 3.3°C에서 7.5°C로 4.2°C가 증가 되었고 공사 후 실내의 온도가 실외와 많은 차이를 보이면서 일정하게 유지되고 있는 것을 볼 수 있다<Fig. 12>.

5°C ~ 23.2°C로 평균 22.8°C로 나타났다. 온도 변화가 천장은 1.4°C, 벽체는 0.7°C로 천장과 벽체의 온도가 크게 다르지 않았다. 다른 부위에 비해 모서리 부분에서 주위보다 온도가 많이 떨어져 그곳으로 열이 빠져나가는 것을 볼 수 있었다. 공사 후 열화상 이미지 분석 결과 천장은 15.8°C ~ 18.0°C로 평균 17.1°C로 나타났고 벽체는 16.7°C ~ 17.9°C로 평균 17.3°C로 나타났다. 온도 변화의 폭은 천장이 2.2°C, 벽체는 1.2°C로 공사 전 보다 크게 나타났다. 이는 실외 온도의 급격한 변화에 따른 영향으로 보인다. 천장의 촬영 이미지에서 일정한격으로 저온의 점들이 보이고 있다. 이것은 천장에 부착한 단열재와 석고보드가 떨어지는 것을 예방하고자 지붕 구조에 철재 못을 사용하여 고정시켰는데 이 철재 못을 통하여 외기가 유입되는 것으로 이보드를 사용할 때는 고정물 사용에 주의해야 한다<Fig. 13>.

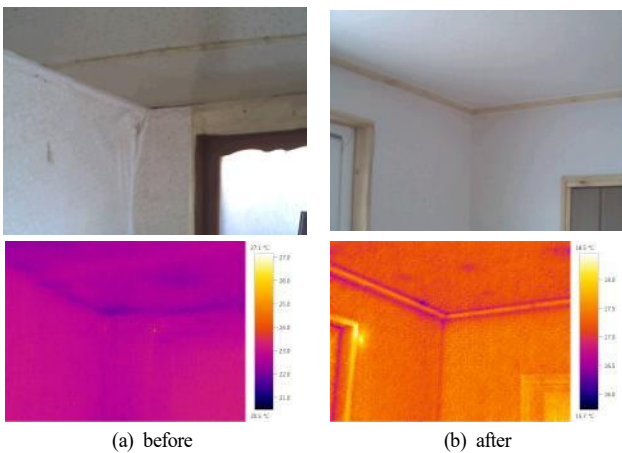


Fig. 13. Thermal imaging before and after construction

공사전후 열화상사진 비교해 보면 공사 전 실내 천장 온도가 21.6°C ~ 23.0°C로 평균 22.5°C로 측정되었다. 벽체 온도는 22.

3.3 그라스울 적용 결과

그라스울 R-11을 사용하여 단열 시공한 주택의 온도 측정은 공사전 8월 9일-10일, 공사후 10월 13일-14일 각각 하루 동안의 온도변화를 측정하였다. 그 결과 온도변화를 보면 공사 전 주택의 실외 온도는 25.1°C ~ 39.4°C로 평균 29.3°C이고 실내온도는 29.4°C ~ 32.1°C로 평균 30.4°C가 측정되었고 실내외의 온도가 1.1°C의 차이를 보였다. 실외온도가 14.3°C의 변화를 보일 때 실내온도는 2.7°C의 변화가 측정되었다. 공사 후 주택의 실외온도는 8.2°C ~ 22.3°C로 평균 13.1°C이고 실내온도는 19.3°C ~ 21.7°C로 평균 21.1°C가 측정되었고 실내외의 온도가 8.0°C의 차이를 보였다. 실외온도가 14.1°C의 변화를 보일 때 실내온도는 2.4°C의 변화가 측정되었다. 공사 전과 비교했을 때 실외 변화에 따른 실내온도의 변화는 비슷하게 나타났으나 실내의 온도의

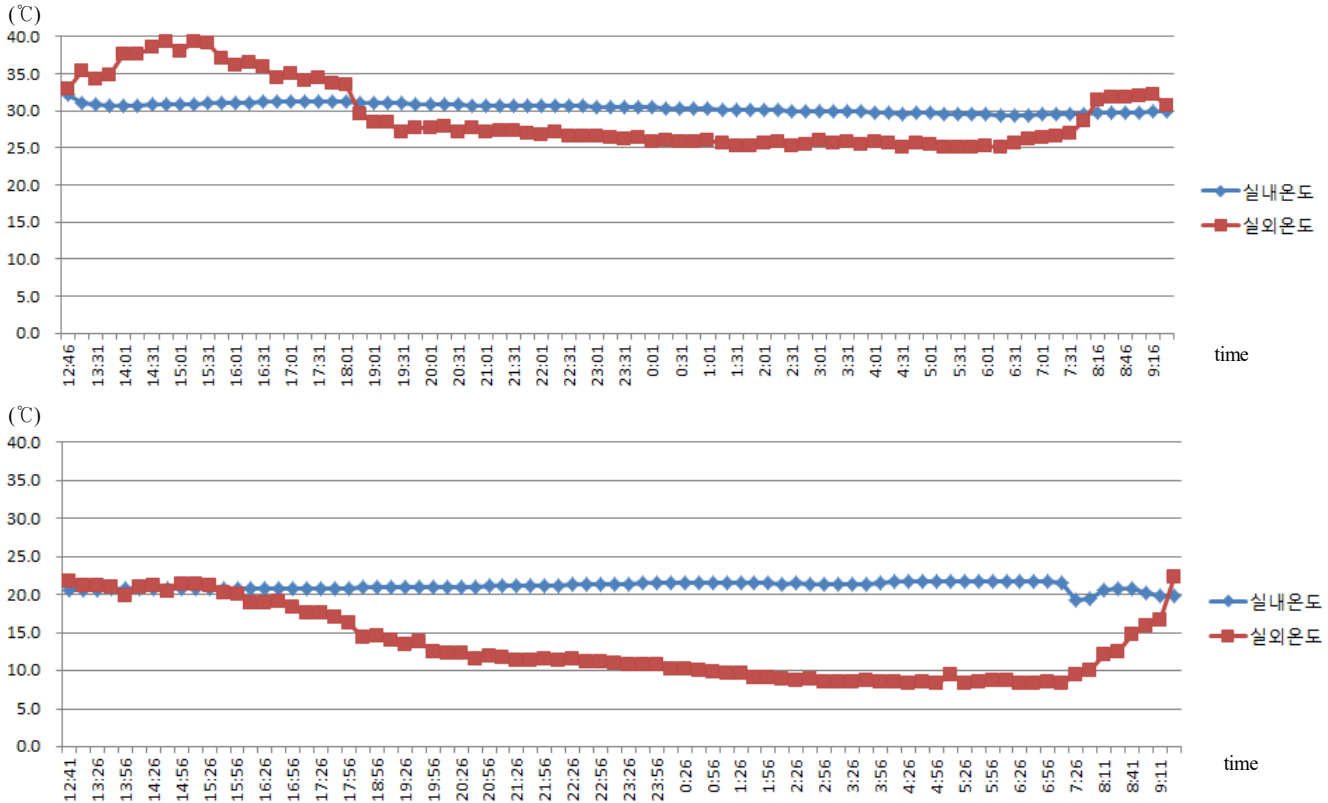


Fig. 14. Temperature change before(up) and after(down) construction(glass wool)

차이가 공사 전 1.1°C에서 공사 후 8.0°C로 큰 차이가 나타났다. 측정된 방의 위치가 외기와 직접 면하지 않고 방과 창고로 둘러싸여 있어 실내의 온도가 큰 변화 없이 일정하게 유지되고 있었다<Fig. 14>.

은 17.2°C ~ 18.1°C로 평균 17.7°C로 나타났고 벽체는 16.9°C ~ 17.8°C로 평균 17.2°C로 나타났다. 공사 전 측정에서 천장과 벽체가 1.4°C 차이에서 공사 후 0.5°C로 천장과 벽이 비슷한 온도로 측정되었다. 특히 공사 전에 벽체와 바닥이 만나는 부분을 따라 선형으로 열교가 심했던 것이 공사 후에는 많은 부분이 개선되었다. 그라스울을 사용할 때 목재 틀을 설치하는데 이 목재에 의한 열교 현상을 예상했지만 열화상 이미지로 확인 했을 때는 별다른 이상은 발견되지 않았다<Fig. 15>.

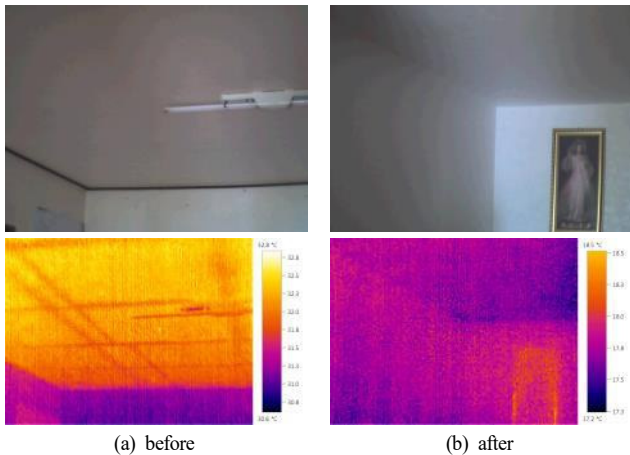


Fig. 15. Thermal imaging before and after construction

공사전후 열화상 사진을 비교해 보면 공사 전 실내 천장 온도가 31.4°C ~ 32.8°C로 평균 32.1°C로 측정되었고 벽체는 29.2°C ~ 32.3°C로 평균 30.7°C로 측정되었다. 천장 온도변화는 1.4°C이고 벽체 온도변화는 3.1°C로 벽체의 온도 변화가 크게 나타났다. 이는 열화상 이미지에서 볼 수 있듯이 바닥과 벽체가 만나는 부분을 따라가면서 선형으로 열이 빠져나가는 것을 확인할 수 있다. 천장에서는 반자를 댄 목재 틀의 형태를 따라 온도가 변하고 있었다. 공사 후 열화상 이미지 분석 결과 천장

각 주택에 적용한 재료별 온도 변화를 측정된 결과 EPS를 사용한 주택은 실내외 온도차이가 공사전 보다 1.6°C 높아졌고 실외 온도변화에 따른 실내온도변화가 0.22°C에서 0.18°C로 줄어들었다. 이보드를 사용한 주택은 실내외 온도차이가 4.2°C 높아졌고 실외온도변화에 따른 실내온도변화가 0.45°C에서 0.54°C로 증가하였다. 이는 실내의 환기와 난방으로 인한 실내온도 변화가 영향을 미친 것으로 보인다. 그라스울을 사용한 주택은 실내외 온도차이가 공사전 보다 6.9°C 높아졌고 실외온도변화에 따른 실내온도변화는 0.18°C에서 0.17°C로 줄어들었다. 공사전후 실내외 온도 차이는 그라스울이 높게 나타나지만 실외온도에 따른 실내온도 변화는 EPS가 공사후의 효과가 크게 나타났다<Table 4>.

Table 4. Temperature measurement result by material

		EPS	이보드	그라스울
공사전	실내	24.2°C	24.8°C	30.4°C
	실외	25.1°C	21.5°C	29.3°C
	온도변화	0.22°C	0.45°C	0.18°C
공사후	실내	18.5°C	20.6°C	21.1°C
	실외	16.0°C	13.1°C	13.1°C
	온도변화	0.18°C	0.54°C	0.17°C

3.4 단열재료의 경제성 분석

3가지 단열재의 경제성을 비교하기 위하여 시공금액을 비교해 보았다. 총 시공금액은 인건비를 제외한 금액으로 EPS를 이용한 단열기술이 가장 금액이 적었고 그라스울이 가장 많았다. m²당 시공비에는 적용 할 주택에 따라 달라질 수 있는 창호나 도배, 장판 비용을 제외하였고 여기서는 EPS가 가장 금액이 적었고 이보드가 가장 많았다. 단열재 비용만을 보았을 때 그라스울이 가장 저렴하지만 그라스울은 목재들의 제작이 필수적이기 때문에 EPS보다 많은 비용이 소요되었다. 최종적으로 3가지 재료 중에서 EPS를 이용한 단열 방법이 경제적인 것을 알 수 있다.

Table 5. Comparison of construction value by insulation (unit: won)

구분	EPS (에어폴)/9.3m ²	이보드 /5.4m ²	그라스울 (인슐레이션)/10.2m ²
단열재	441,650	492,000	236,000
구조재 등	402,700	396,100	1,183,000
소계	844,350	888,100	1,419,000
m ² 당 시공비	90,790	164,463	139,117
창호	254,000	536,000	400,000
도배장판	110,000	67,100	165,000
폐기물처리비	66,000	66,000	66,000
총계	2,033,490	2,476,663	3,377,117

4. 결론

농촌주택 적용 가능한 단열 재료로 시공성과 경제성을 고려하여 EPS, 이보드, 그라스울을 선정하였고 실제 농촌주택 3곳에 적용하여 실내의 온도 차이와 실외온도변화에 따른 실내온도의 변화를 살펴 본 결과 다음과 같다.

EPS를 이용한 단열은 3가지의 시공법 중 재료비 및 비용이 가장 적었고 900mm×615mm×80mm의 규격을 사용하여 약 9.3m²의 면적에 적용한 결과 실내의 온도차는 0.9℃에서 2.5℃로 상승하였고 온도변화는 0.04℃ 감소하였다.

이보드를 이용한 단열은 그라스울을 사용한 방법에 비해 재료비가 적게 들었고 900mm×2400mm×50mm 규격을 사용하여 5.4m²의 면적에 적용한 결과 실내의 온도차는 3.3℃에서 7.5℃로 상승하였으나 온도변화는 0.09℃ 증가하였다.

그라스울을 이용한 단열은 다른 2가지 방법과는 달리 별도로 2×4의 목재 틀의 설치가 필요함으로 재료비는 가장 많이 필요로 하고 381mm×2400mm×88mm의 R11 규격을 사용하여 10.2m²의 면적에 적용한 결과 실내의 온도차는 1.1℃에서 8.0℃로 상승하였고 온도변화는 0.01℃ 감소하였다.

온도측정결과 그라스울이 온도차이는 가장 높게 측정되었지만 온도변화는 EPS가 가장 효과적으로 나타났다.

또한 경제적인 면을 보면 단열재료만을 비교했을 때 그라스울이 저렴하였지만 총공사비나 m²당 공사비는 가장 많이 소요되었다. EPS는 단열재료비, m²당 공사비, 총공사비에서 가장 적은 비용이 소요되어 경제적 재료로 분석되었다.

3가지의 단열 방법 중 EPS가 재료의 수급이나 비용이 적게 들어 경제적으로 유리하며 시공 시 재료의 가공성이 좋아 일반 마을 주민의 경우도 쉽게 할 수 있고 단열의 개선에도 효과가

있다. 그러나 이 방법은 시공 주택의 벽면이 고르지 않을 때에 시공이 힘들고 단열재의 두께로 인해 기존 생활공간이 좁아진다는 단점이 있다.

농촌주택에 단열재를 사용하는데 있어 경제적 측면과 재료의 시공성을 고려했을 때 EPS 단열재가 재료의 가공도 용이하고 시공방법도 전문가가 아니어도 어렵지 않으면서 단열 상승 효과도 좋게 나타났다. 그러나 주택의 벽면이 평평하지 않을 때는 EPS 만으로 똑바른 벽면을 잡을 수 없기 때문에 목재 틀을 사용하는 그라스울이 적절한 단열 방법이다.

농촌에서도 거주환경에 대한 의식이 점점 높아지고 있는 만큼 농촌주택에 적용 가능한 보다 다양하고 효과적인 재료와 방법에 대한 연구가 필요하고 앞으로의 연구에 있어 본 연구가 기초자료로서 활용 될 수 있기를 기대해 본다.

참고문헌

1. 권영철, 공동주택 단열재로서의 에어로젤 적용 연구, 대한건축학회 지회연합회, 8(1), 2012
2. 김윤학, 거주환경개선을 위한 농촌주택 개보수 인식에 관한 연구, 한국농촌건축학회, 16(3), 2014
3. 김은진·염동우·이규인, 농촌형 그린홈 계획을 위한 생태재료 '왕겨'의 단열성능 실험 연구, 대한건축학회, 28(8), 2012
4. 류연수 외 4명, 평창 농촌주택 건축시기별 난방에너지 요구량 분석, 한국태양에너지학회, 33(1), 2013
5. 문동일·김윤학, 소도시 중심가의 입지시설 및 이용특성에 관한 연구 -영암읍 중심가로변을 대상으로-, 한국농촌건축학회, 13(3), 2011
6. 송수빈·손범구·정승문, 진공유리의 단열 성능과 건물 에너지 절감 효과, 한국태양에너지학회, 32(2), 2012
7. 이나은 외 3명, 로이유리 발코니 창호의 단열성능에 따른 공동주택 건축물 에너지효율등급 평가 연구, 한국태양에너지학회, 32(2), 2012
8. 홍봉재, 단열 요구조건을 고려한 차열도료의 성능 분석, 청운대학교 건설환경연구소, 7(2), 2012

접수일자 : 2017. 10. 10
수정일자 1차 : 2017. 11. 15
게재확정일자 : 2017. 11. 22