



내표면 온도차 비율(TDRi) 분석을 통한 현대 신한옥 외벽 모서리 부위 단열성능 평가

Thermal Performance Evaluation at corners of the External wall of Modern New Han-oks using Temperature Difference Ratio inside

이주엽* · 송민정** · 이태강*** · 김선우**** · 천득염*****

Lee, Ju-Yeob* · Song, Min-Jeong** · Lee, Tai-Gang*** · Kim, Sun-Woo**** · Cheon, Deuk-Youm*****

* Main author and Corresponding author, Industrial Technology Research Institute, Chonnam National Univ, South Korea (weaponlee@hanmail.net)

** Industrial Technology Research Institute, Chonnam National Univ, South Korea (minjeongsong@hanmail.net)

*** Industrial Technology Research Institute, Chonnam National Univ, South Korea (leetaigang@hanmail.net)

**** Dept. of Architecture, Chonnam National Univ, South Korea (swk@jnu.ac.kr)

***** Dept. of Architecture, Chonnam National Univ, South Korea (dyccheon@jnu.ac.kr)

ABSTRACT

Recently, many New Han-oks have been constructing in all over the country to popularize as a type of green house. But, achievement of thermal performance of external wall is still the very important issue to become popular. **Purpose:** The purpose of this study is to verify the thermal performance level of modern New Han-ok through Temperature Difference Ratio inside(TDRi) analysis at corners of the external wall in Han-ok. **Method:** To achieve this goal, measurements were carried out in 12 Han-oks(experimental mock-up(1), exhibition Han-ok(1), happy village Han-oks(10)) by taking an infra-red thermography using thermal video system. Following are analysis items about connection joint between wall and wood columns of external wall conditions; the part between external wall and external wall(2D), external wall and ceiling(or floor)(2D), 2 external walls and ceiling(or floor)(3D) and so on. **Result:** It was analyzed that the probability of condensation at most of connection joint appear high and TDRi of 3D corners is higher than that of 2D corners in general. It means that the development of construction techniques about connection joint between wood columns and external wall is still required. The results of this study may be used to improve the construction technology of new Han-ok and as a basis for the specifying the desired thermal comfort environment of dwelling

KEYWORD

신한옥
내표면 온도차 비율
적외선 열화상법
단열성능
외벽 모서리

New Han-ok
Temperature Difference Ratio inside
Infrared Thermography
Thermal Performance
Corner of External Wall

ACCEPTANCE INFO

Received May 16, 2016
Final revision received June 20, 2016
Accepted June 22, 2016

© 2016 KIEAE Journal

1. 서론

최근 국내 한옥 건축은 신한옥이라는 개념으로 정부가 추진하는 국가 주도 사업 및 각 지자체의 조례의 지정 등을 통해 전국 각지에 건축되고 있다. 특히, 국가주도 한옥 건축사업의 경우 R&D 성과들을 실현하기 위한 실증화 구축 사업¹⁾의 형태로 진행되고 있다. 부재단위의 성능개발 단계에서 벗어나 개발 기술이 적용된 실증화 한옥 건축을 통해 양질의 한옥을 국민들에게 공급하기 위한 노력을 하는 단계라 할 수 있다.

그러나, 신한옥 건축은 여전히 주요 구법이 전통구법을 취하므로 구조체가 되는 목조에 다른 건축부재가 접합되어 벽체, 바닥, 지붕 등을 구성하는 형식을 취하고 있다. 최근 다양한 형태의 부재 개발을 통해 비교적 높은 성능의 벽체 패널, 창호시스템, 단열재 등을 적용함으로써 신한옥에 필요한 온열환경 여건의 향상을 기대할 수 있으나, 신한옥 거주자들을 대상으로 한 거주성능 만족도 연구²⁾에서는 가장 개선이 필요한 부위로는 여전히 '벽과 기둥의 접합부'를 들고 있으며 이 부위에 대한 보강을 통해 거주

성을 확보하기 위한 사례를 찾아볼 수 있다. 즉, 해당 부위에 대한 기술 보안을 통한 단열성능 확보는 신한옥 거주자의 거주성능 만족도 확보와 향상을 위해 여전히 필요하다 할 수 있다.

또한, 신한옥 건축은 실수요자 측면보다는 공급자의 관점에서 다루어지고 있는 실정으로 적용 부재의 열적 성능이 확보된 경우 설계 목표를 달성한 것으로 보는 경향이 있으며, 시공 후 발생한 단열 결함은 한옥 거주자가 감당하는 경우를 종종 볼 수 있다. 이는 한옥의 보급 및 대중화 측면에서 결코 바람직하지 않으므로 지속적으로 기술개발 결과에 대한 피드백을 통해 단열성능 확보 수준을 뒤돌아 볼 필요가 있다. 실제 거주자가 생활하는 신한옥이나 기술 개발 과정에서 건축된 실험 및 시범한옥 등에 대한 단열성능 모니터링 평가를 통해 신한옥의 단열 수준을 검토하고 지속적인 기술 개발 노력을 기울일 필요가 있는 것이다.

이미 건축된 신한옥 건축물에 대한 단열성능을 평가할 수 있는 방법은 현재 KS F 2829(적외선 촬영에 의한 건축물의 단열성능 평가방법)³⁾에 따라 가능하다. 이 규격은 열화상 카메라를 이용하여 건축물의 단열 결함 부위를 정량적으로 측정 및 평가하는 방법으로 건축물 내부나 외부에서 건축물 표면의 온도를 측정하는 방법이다. 특히, 이 방법은 건축물 외피의 온도를 일시에 포착

할 수 있다는 장점이 있어 현장 단열성 평가의 대안으로 활용되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 열화상 내표면 온도를 측정 평가하는 방법을 활용하여 신한옥 외벽의 단열성능을 분석하고자 하였다.

우선 신한옥을 대상으로 한 현장 단열성능 평가와 관련한 선행 연구를 고찰하였다. 적외선 열화상 분석을 통해 건축물의 단열성능을 평가하기 위한 평가방법 개발 연구와 특정 건축물 대상 열환경 평가 연구가 주로 이루어져 왔다. 최경석 외(2004) 연구⁴⁾에서는 적외선 열화상 촬영에 의해 현장 조건의 단열성능 평가 활용 가능성에 대한 연구 결과를 기술하고 다세대주택·공동주택사 무소건물을 대상으로 한 평가를 진행하였다. 장운성 외(2010) 연구⁵⁾에서는 KS F 2829 규격 내 온도차비율법을 활용하여 목조주택의 열환경 성능에 대해 결로 발생 확률에 대한 평가를 하였다. 이원규 외(2015)⁶⁾는 전통창호·한식유리창호·영창 교체식 창호에 대해 열화상 비교분석을 한 바 있으며, 장철용 외(2011)의 연구⁷⁾에서는 건식 벽체의 스티드 형상 변형을 통한 단열성능 향상 가능성을 분석한 바 있다. 전반적으로 열화상 분석을 통한 현장 평가의 대상은 현대식 주택이나 사무소 건축이며, 필요한 경우 부재 단위 개발 과정에서의 성능 평가가 이루어져 왔으므로 현장 조건의 신한옥에 대한 성능평가는 미흡하다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 신한옥을 대상으로 한 현장 단열성능 평가를 통해 신한옥 외벽의 물리적인 단열성능 수준을 가늠하고자 하였다. 이를 위해 한옥에 대한 성능평가 목적으로 건축된 실험한옥, 홍보용으로 활용되는 시범한옥 및 실제 거주자가 거주하는 현대 신한옥을 대상으로 적외선 열화상 촬영을 진행하였으며, 결과는 KS F 2829에 의한 내표면 온도차 비율 분석을 통해 결로 발생 확률에 대한 평가로 진행하였다.

2. 평가 방법 및 내용

2.1. 평가 대상

본 연구의 평가 대상으로는 총 12채의 신한옥을 선정하였다. 실험용 Mock-up한옥⁸⁾ 1채와 시범한옥⁹⁾ 1채 및 전라남도 행복마을 한옥 10채를 선정하였다(Table 1).

Mock-up한옥은 2012년 5월에 총2층 구조로 건축된 한옥으로 주 용도는 시공 및 성능테스트를 목적으로 지어졌으며, 건축 초기 쾌적성 모니터링을 위해 실제 24시간 거주하는 여건으로 활용되었다가 현재는 비거주 상태로 내외부 환경성능 모니터링 용도로 활용 중인 한옥이다(Fig. 1).

시범한옥은 2013년 7월에 2층 구조로 건축되었으며, 한옥 홍보 및 문화집회시설로 건축되어 지금 현재는 문학관의 용도로 활용되고 있다. 관리자가 상주해 있으므로 주거 조건으로 동절기 난방을 하며 유지되고 있다(Fig. 2).

거주자가 생활하는 조건의 생활 신한옥은 전라남도 행복마을 한옥으로 선정하였다. 전라남도 행복마을 신한옥은 보급이 매우 활성화되었으며, 2007년 지정을 시작한 이래 2015년 8월 기준으로 총 110개 마을에 총 완공 가구수가 1,277가구로 당해 시점

에는 591채가 추진 중¹⁰⁾으로 매우 활성화되어 있다. 단열성능 평가를 위한 한옥은 2009~2010년 주로 건축되어 초기 건축 이래 동일한 거주자가 생활하는 10채의 한옥을 선정하였다.

Table 1. Details of New Han-ok's location

Division	Location	Main use	
Mock-up Han-ok	Yong-in	Experimental	
Exhibition Han-ok	Seoul	Exhibition	
Happy Village	HV-01	Gok-seong	Residential
	HV-02	Yeo-su	Residential
	HV-03	Yeo-su	Residential
	HV-04	Bo-sung	Residential
	HV-05	Bo-sung	Residential
	HV-06	Young-am	Residential
	HV-07	Young-am	Residential
	HV-08	Gang-jin	Residential
	HV-09	Gang-jin	Residential
	HV-10	Gang-jin	Residential

1) HV : Happy Village

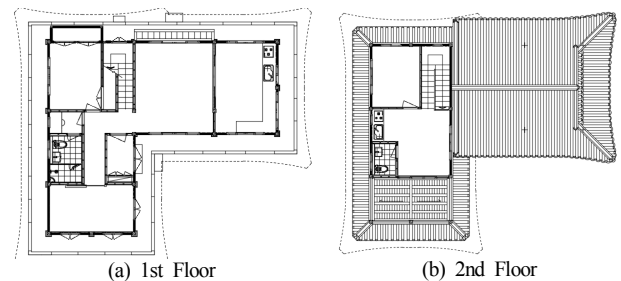


Figure 1. Floor Plan of Mock-up Han-ok

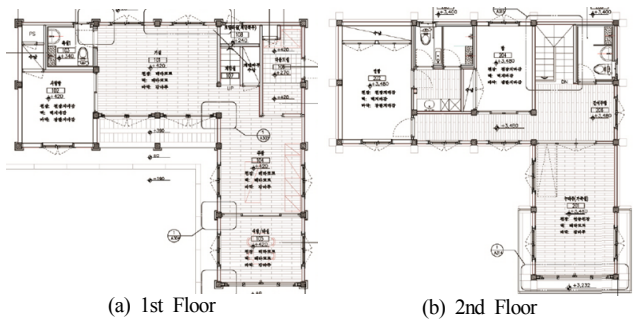


Figure 2. Floor Plan of Exhibition Han-ok



Figure 3. Scene of Happy Village Han-oks (Jeonnam)

Table 2. The index examples of the probability of Condensation According to TDRi

Thermal Performance	Thermal Bridge Range	TDR	Probability of Condensation	Examples
Excellent	Ignore	<0.15	(In standard temperature condition of indoor 20°C and outdoor -10°C) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 85%	- The U value of wall surface is below 1.2W/m²k - The U value of external wall corner is or below 0.6W/m²k - Insulating lintel
Good	Suitable	0.15~0.2	(In standard temperature condition of indoor 20°C and outdoor -10°C) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 80% and is generated over relative humidity 85%	- The U value of wall surface is over 1.2W/m²k - The U value of external wall corner is over 0.6W/m²k
Poor	Heavy	0.2~0.3	In standard temperature condition of indoor 20°C and (outdoor -10°C) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 70% and is generated over relative humidity 80%	- The U value of external wall corner is 0.9~1.5W/m²k - No insulating concrete wall and floor
Very Poor	Very Heavy	>0.3	(In standard temperature condition of indoor 20°C and outdoor -10°C) The performance that the condensation is generated under relative humidity 70%	- The U value of 2D corner is over 0.6W/m²k - The floor and insulating wall that the U value of 3D corner is over 0.6W/m²k

2.2. 측정 및 평가 방법

측정과 평가는 단열성능 현장 측정 방법인 적외선 열화상 카메라를 활용하여 신한옥 내부에서 내표면을 촬영하는 방법을 적용하여 외벽 부위에 대한 단열성능 평가를 진행하였다.

측정에 사용한 적외선 카메라(FLIR system)는 측정범위가 -20°C~250°C, 열감도는 30°C에서 0.1°C로서 측정된 표면 복사 온도를 가시화하여 보여 줄 수 있으며 측정 중 표면 온도 범위를 조절할 수 있는 기능을 제공하는 장치를 사용하였다.

데이터의 분석은 내표면 온도차 비율 평가 방법을 적용하였다. KS F 2829에 따르면 내표면 온도차 비율은 아래 수식과 같이 산출하게 된다. 내표면 온도차 비율(TDRi)는 외벽의 단열성능이 우수할수록 실내표면과 실내공기의 온도가 가까워지고, 단열성능이 나쁠수록 실내표면의 온도가 외기온도에 근접한다는 의미를 갖는다[4].

$$TDRi = \frac{Ti - Tis}{Ti - To}$$

여기서, Ti : 실내 온도(°C)

To : 외기 온도(°C)로 측정 이전 시점 72시간 평균치

Tis : 외피의 내표면 온도(°C)

이 방법에 의해 도출된 내표면 온도차 비율은 건축물 외피의 내표면 부위에 대한 결로 발생 확률에 대한 평가를 할 수 있다. Table 2는 KS F 2829에 의한 벽체의 내표면 결로 발생 가능성에 대한 판정 지표를 나타낸 것이다. 다만, 현장에서 열화상 측정을 통해 도출된 건축물 표면의 온도가 높거나 낮다고 하여 단순 결함을 판정할 수는 없다. 표에 제시한 판정 지표는 벽체 내표면에 대한 결로 발생 확률을 판정하기 위해 수치에 근거한 판정으로 평가량에 대한 열적성능이 나쁘다고 하여 모든 현장에서 결로가 발생하는 것은 아니기 때문이다.

측정 조건은 규격에서 제시하는 바에 따라 TDR을 산출하기 위한 조건으로 실내온도와 과거 3일간의 외기 평균 온도 차이가 10°C 이상일 경우의 조건을 준수하였다.

2.3. 평가 내용

평가를 위한 측정 범위는 한옥 거주자들이 가장 개선이 필요한 부위로 들고 있는 '벽과 기둥의 접합부' 중심의 외벽 부재가 만나는 모서리로 한정하였다. 특히, 평가 대상인 모든 한옥이 모두 상이하므로 상호 비교가 가능한 부위로서 벽과 벽이 만나는 모서리(2D), 벽과 천장(바닥)이 만나는 모서리(2D), 벽과 벽, 천장(바닥)이 만나는 모서리(3D) 부위를 그 대상으로 하였다. 다만, 본 연구에서 창호와 창틀이 벽체와 접하는 부위는 평가에 활용할 KS F 2829 규격이 창호나 유리의 단열성능 평가 목적에 사용되지 않으므로 평가 범위에서 제외하였다.

Table 3. Evaluation details

Division	Detail	Name	
The case facing directly on the outside air	2D	External wall & External wall	2EE
		External wall & Ceiling	2EC
		External wall & Floor	2EF
	3D	External wall & External wall & Ceiling	3EEC
		External wall & External wall & floor	3EEF
The Corner between external and internal wall	2D	External wall & Internal wall	2EI
		Internal wall & Ceiling	2IC
		Internal wall & Floor	2IF
		Rafters & Danggolmaki	2RD
		Rafters ceiling & Danggolmaki	2RcD
	3D	External wall & Internal wall & Ceiling	3EIC
		External wall & Internal wall & floor	3EIF
		Rafters & Danggolmaki & Ceiling	3RDC
Living room ceiling	1	Rafter	1R
		Rafter ceiling	1RC

- 1) Danggolmaki(당골막이)
- 2) Rafter(서까래)
- 3) Rafter ceiling(연목 개판, 서까래 위 지붕 하부 마감면)

Table 3은 평가가 이루어진 모서리 부위 내용을 정리한 것이다. 우선 외기에 직접 면하는 외벽의 경우 외벽&외벽, 외벽&천

장, 외벽&바닥의 2D 모서리와 외벽&외벽&천장, 외벽&외벽&바닥의 3D 모서리 부분으로 구분하였다. 동시에 외벽과 내벽이 만나는 위치의 단열성능 특성을 외기에 직접 면하는 외벽과 비교하기 위해 함께 분석을 진행하였다. 표에 제시한 Name은 부위별 분석을 위해 임의로 부여한 기호이다.

평가는 침실과 거실을 중심으로 진행하였다. 침실은 평가가 이루어진 모든 한옥이 천장 마감을 하고 있기 때문에 외벽부재와 천장이 만나는 경우로 결정하였다. 다만, 마감 조건상 실내측에서 목재 부재를 비노출한 경우와 직접적으로 노출한 경우가 있으므로 구분하여 분석하였다(Fig.3). 거실은 대부분의 한옥에서 서까래와 당골막이 부위를 노출하고 있으므로(행복마을 한옥 2세대만 비노출) 서까래와 당골막이 만나는 부위 중심으로 분석을 진행하였다. 특히, 신한옥의 거실은 평면 구조상 세대의 중앙에 위치하게 되므로 모든 한옥에서 외벽과 내벽이 만나는 구조이므로 외벽 부재와 내벽 및 천장, 바닥이 만나는 부위에 대한 평가를 진행하였다.



Figure 4. Exposure or not of Wooden members(lining room)

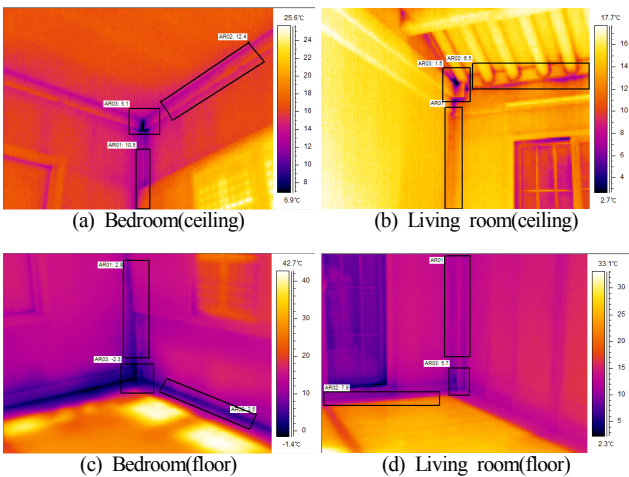


Figure 5. Examples of IR images on the inside wall for analysis

서까래가 노출되는 거실 천장의 경우, 서까래(연목)와 연목 개판(한옥 지붕 하부를 아래에서 바라보았을 때 서까래 위에 보이는 평평한 부재)에 대한 내표면 온도를 함께 분석하였다.

다만, 평가 과정에서 수직벽과 바닥이 만나는 부위는 대부분의 한옥에서 살림 세간과 가구가 배치되어 있으므로 현장 여건상 해당 부위에 대한 열화상 촬영이 가능한 한옥에 대해서만 평가를 진행하고 분석하였다.

분석은 열화상 촬영 장면에 대해 각 부위에 대해 Area(면)를

설정하여 최저온도점에 대한 내표면온도차 비율을 산정하는 방식을 적용하였다. 면 단위 분석을 행한 이유는 spot(점)으로 하는 경우 해당 부위의 최저온도점을 확인하기 힘들기 때문으로 가급적 해당 부위를 넓게 설정하여 분석에 활용하였다. 대상 한옥별 열화상 전체 분석 자료는 지면 여건상 대표적인 자료만 본 논문에 삽입하였다.

3. 내표면 온도차 비율(TDRi) 평가 분석

3.1. Mock-up한옥 TDRi 평가 분석

대상이 된 실험한옥의 열화상 촬영은 2013년, 2016년 총 2차례 걸쳐 3년 차이를 두고 진행하고 그 결과를 분석하였다.

다만, 각 측정시 거주 여건에 차이가 있다. 2013년 측정시에는 한옥 쾌적성 모니터링 평가를 위해 한옥 내부에 실제 거주자가 24시간 거주하는 환경으로 동절기 난방과 생활이 이루어지는 조건이었으나, 2016년 측정 조건은 비거주 상태로 환경성능에 대한 모니터링을 실시하기 위해 동절기 난방은 하고 있는 조건이다. 단열성능 평가를 위해서는 난방을 해야 하므로 모니터링을 위해 난방을 지속적으로 실시하고 있는 동절기에 실시하였다.

Figure 6은 실험 한옥의 열화상 분석의 대표적인 사례로 2D-3D 모서리 부위 중심으로 분석한 자료를 나타낸 것이다. Table 4는 내표면 온도차 비율 방법을 통해 분석된 측정 부위별 결과를 2013년과 2016년으로 구분하여 정리하였다.

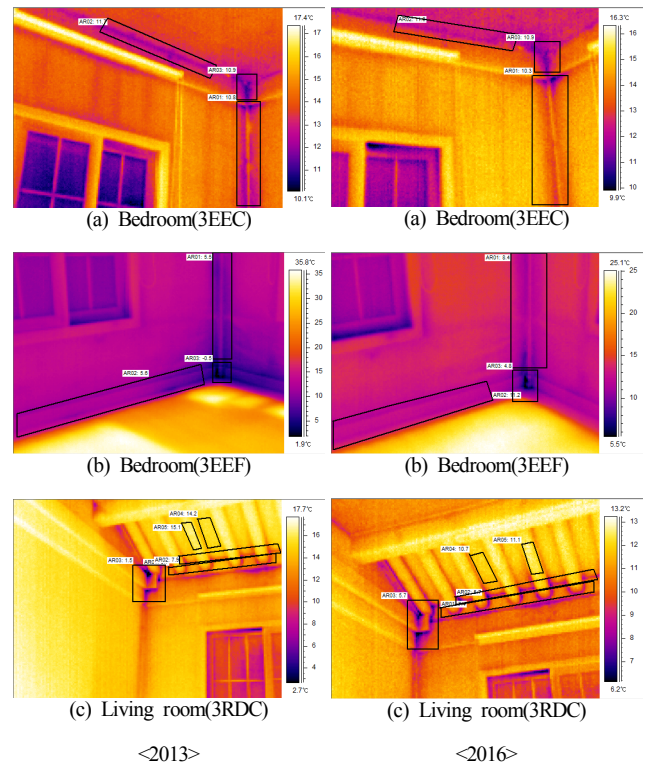


Figure 6. IR images analysis in Mock-up Han-ok

Table 4. Estimation of condensation possibility by TDRi(Mock-up Hanok)

Division	location	Measure-ment part	ID	2013					2016				
				Indoor temp (°C)	outdoor temp (°C)	Internal surface Temp (°C)	TDRi	Condensation possibility	Indoor temp (°C)	outdoor temp (°C)	Internal surface Temp (°C)	TDRi	Condensation possibility
The case facing directly on the outside air	bedroom1	Ceiling	2EE	19.6	-6.8	10.5	0.34	Very Poor	24.8	-7	10.0	0.47	Very Poor
			2EC	19.6	-6.8	12.4	0.27	Poor	24.8	-7	11.1	0.43	Very Poor
			3EEC	19.6	-6.8	5.1	0.55	Very Poor	24.8	-7	6.8	0.57	Very Poor
		Floor	2EE	19.6	-6.8	2.8	0.64	Very Poor	24.8	-7	9.9	0.47	Very Poor
			2EF	19.6	-6.8	2.5	0.65	Very Poor	24.8	-7	9.1	0.49	Very Poor
			3EEF	19.6	-6.8	-2.3	0.83	Very Poor	24.8	-7	9.0	0.50	Very Poor
	bedroom2	Ceiling	2EE	18.5	-6.8	10.8	0.30	Very Poor	22.6	-7	10.3	0.42	Very Poor
			2EC	18.5	-6.8	11.7	0.27	Poor	22.6	-7	11.6	0.37	Very Poor
			3EEC	18.5	-6.8	10.9	0.30	Very Poor	22.6	-7	10.9	0.40	Very Poor
		Floor	2EE	18.5	-6.8	5.5	0.51	Very Poor	22.6	-7	8.4	0.48	Very Poor
			2EF	18.5	-6.8	5.6	0.51	Very Poor	22.6	-7	11.2	0.39	Very Poor
			3EEF	18.5	-6.8	-0.5	0.75	Very Poor	22.6	-7	4.8	0.60	Very Poor
The Corner between external and internal wall	bedroom1	Ceiling	2EI	14.6	-6.8	5.4	0.43	Very Poor	17	-7	6.2	0.45	Very Poor
			2EC	14.6	-6.8	7.1	0.35	Very Poor	17	-7	7.6	0.39	Very Poor
			2IC	14.6	-6.8	10.8	0.18	good	17	-7	10.3	0.28	Poor
		Floor	3EIC	14.6	-6.8	-1.7	0.76	Very Poor	17	-7	2.0	0.63	Very Poor
			2EI	14.6	-6.8	2.6	0.56	Very Poor	17	-7	6.7	0.43	Very Poor
			2EF	14.6	-6.8	-2.3	0.79	Very Poor	17	-7	5.4	0.48	Very Poor
	living room	Ceiling	2IF	14.6	-6.8	7.2	0.35	Very Poor	17	-7	9.5	0.31	Very Poor
			3EIF	14.6	-6.8	-2.3	0.79	Very Poor	17	-7	2.9	0.59	Very Poor
			2RD	16.8	-6.8	8.7	0.34	Very Poor	20.8	-7	7.4	0.48	Very Poor
		Floor	2RcD	16.8	-6.8	7.9	0.38	Very Poor	20.8	-7	5.7	0.54	Very Poor
			3RDC	16.8	-6.8	1.5	0.65	Very Poor	20.8	-7	5.7	0.54	Very Poor
			1R	16.8	-6.8	14.2	0.11	Excellent	20.8	-7	10.7	0.36	Very Poor
	IRC	16.8	-6.8	15.1	0.07	Excellent	20.8	-7	11.1	0.35	Very Poor		
	2EI	16.8	-6.8	9.9	0.29	Poor	20.8	-7	6.9	0.50	Very Poor		
	3EIF	16.8	-6.8	5.7	0.47	Very Poor	20.8	-7	5.0	0.57	Very Poor		

1차 측정(2013년)과 2차 측정(2016년)시 측정 조건에 따르면 외기온은 측정 시점 기준 3일 평균이 -6.8°C(1차), -7°C(2차)로 큰 차이가 없었으나, 2차 측정이 이루어진 시기는 일시적인 한파로 인해 실험한옥 난방 온도를 이전보다 올려서 난방하는 조건이었다. 2차 측정시 실내온도는 17.0~24.8°C 수준으로 1차 측정(14.6~19.6°C)시보다 약 3~5°C 정도 각 공간별로 실내 온도가 높은 조건으로 조사되었다.

내표면 온도에 따른 전체적인 TDRi 분석 결과는 대부분의 모서리 부위 평가량은 0.3 이상 수준으로 결로 발생 확률에 대한 평가시 '매우 불량' 수준으로 몇몇 부위를 제외하고는 결로 발생 가능성이 높은 조건으로 분석되었다.

2D·3D 모서리 부위 비교 분석 결과, 전체적으로 3D 모서리 부위가 2D 모서리 부위에 비해 높은 내표면 온도차 비율을 보이는 것으로 나타났다('내표면 온도차 비율이 높다' - 결로 발생 확률이 높다는 것을 의미).

1·2차 측정에 따른 TDRi 분석 결과, 외기에 직접적으로 면하는 외벽 모서리의 경우 천장 3D 모서리 부위는 내표면 온도차 비율이 증가하는 것으로 나타났으나, 바닥 3D 부위는 오히려 감소하는 것으로 나타나고 있어 시간 경과에 따라 천장쪽 모서리 부위가 바닥쪽 모서리 부위에 비해 상대적으로 단열능력이 저하하는 것으로 나타났다.

외벽과 내벽이 만나는 위치는 내벽과 천장, 내벽과 바닥이 만나는 부위가 외벽과 천장, 외벽과 바닥이 만나는 위치에 비해 상대적으로 내표면 온도가 높게 나타났다. 그만큼 외기에 면하는 부위의 접합부를 통한 열손실이 발생하고 있음을 의미한다고 할 수 있다.

또한, 2차 측정시 더 높은 난방 온도로 인해 실내 온도가 1차에 비해 3~5°C 정도 높았음에도 불구하고 실내 표면의 온도가 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데 이는 한옥 내 거주 여건에 따른 온열감의 영향도 고려해 볼 수 있다. 1차 측정 여건은 측정이 행

해진 동절기 동안 24시간 상시 거주자가 거주하는 여건으로 실 공간에서 온기를 체감할 수 있었으나, 2차 환경은 비거주 상태로 난방 온도와는 상관없이 한기가 느껴지는 상태였음은 거주에 따른 생활 온열감 영향이 있었기 때문으로 판단된다.

침실과는 달리 서까래가 노출된 거실 천장의 경우 당골막이 부위를 통한 열손실이 발생하는 것으로 나타났다. 이는 1차 측정 시에 비해 2차 측정시 내표면 온도차 비율이 증가하는 결과에서 확인할 수 있다. 다만, 거실 천장의 경우 바닥 복사 난방의 영향으로 인해 난방 열이 수직방향으로 상승하여 서까래와 개판 부분의 온도 향상을 가져오고 있어 다른 부위에 비해 상대적으로 낮은 내표면 온도차 비율을 보이는 것으로 나타났다.

TDR을 활용한 결로 발생확률에 대한 평가는 현재 국내에서는 공동주택을 대상으로 한 방지 설계 지침이 있다¹⁾. 해당 지침은 국내 주요 지역을 3지역으로 구분하여 공동주택 벽체 접합부의 결로 방지 성능기준을 1지역(0.23), 2지역(0.25), 3지역(0.28)으로 나누어 제시하고 있다. 해당 지침은 공동주택을 대상으로 한 설계 지침이므로 한옥 건축물에 직접적인 비교는 할 수 없으나, 공동주택 기준과 비교시 어느 수준인지를 가늠하기 위해 Mock-up 한옥의 결과를 비교해 보았다. Mock-up 한옥은 2지역으로 적용 기준이 0.25 수준이나 현재(2016) 조건의 평가량은 대부분의 위치에서 기준을 충족하지 못하는 것으로 나타났다. 신한옥의 단열성능 확보와 유지를 위해서는 신한옥의 특성에 맞는 결로 방지 설계 지침이 필요할 것으로 보인다.

3.2. 시범한옥 TDRi 평가 분석

시범한옥은 2013년 7월에 2층 구조로 건축되었으며, 현재 한옥 홍보 및 문학관의 용도로 활용되고 있다. 관리자가 주간에는 상주하여 동절기 난방을 하며 유지되고 있다(Fig. 2).

열화상 촬영은 2014-2015-2016년 총 3차례 걸쳐 1년 차이를 두고 진행하고 그 결과를 분석하였다. 측정 위치는 현재 본 건물이 문학관으로 활용되면서 일부 전시시설물로 인해 측정이 가능한 부위를 선정하였다. 외벽과 외벽이 만나는 부위는 1층 다실, 외벽과 내벽이 만나는 부위는 1층 거실, 천장은 2층 누마루 거실 천장 부위로 하여 측정을 진행하고 평가하였다. 바닥 모서리의 경우 가구 및 전시 시설물 배치로 인해 측정이 불가능한 부분은 분석에서 제외하였다. Fig 7은 열화상 분석 자료의 일부를 정리한 것이다.

1~3차 동일 위치에 대한 평가를 진행하였다. 측정시 온도는 열화상 측정 여부와 상관없이 난방하는 온도임에도 불구하고 3차 측정시는 1-2차 측정시에 비해 매우 높은 온도로 계속되었다.

내표면 온도에 따른 연간 TDRi 분석 결과, 실내온도가 가장 낮았던 1차 측정(18.7~20.1℃)에 비해 2차 측정(23.5~24.1℃)시 내표면 온도차 비율 평가량이 낮아지면서 전체적으로 결로 발생 확률이 낮아지는 것으로 나타났다. 3차 측정시에는 실내온도(25.6~29.2℃)가 매우 높았음에도 불구하고 2차 측정시에 비해 외기에 직접 접하는 외벽 모서리는 결로 발생 가능성이 증가하는 것으로 나타났다.

Table 5. Estimation of condensation possibility by TDRi(Exhibition Hanok)

Division	location	Measure-ment part	ID	2014					2015					2016				
				Indoor temp (°C)	outdoor temp (°C)	Internal surface Temp (°C)	TDRi	Condensati on possibility	Indoor temp (°C)	outdoor temp (°C)	Internal surface Temp (°C)	TDRi	Condensati on possibility	Indoor temp (°C)	outdoor temp (°C)	Internal surface Temp (°C)	TDRi	Condensati on possibility
The case facing directly on the outside air	tearoom	Ceiling	2EE	20.1	1.77	15.9	0.23	Poor	24.1	0.45	21.5	0.11	Excellent	28.2	-1.34	19.2	0.30	Very poor
			2EC	20.1	1.77	16.2	0.21	Poor	24.1	0.45	23.5	0.03	Excellent	28.2	-1.34	22.1	0.21	Poor
			3EEC	20.1	1.77	15.1	0.27	Poor	24.1	0.45	22.1	0.08	Excellent	28.2	-1.34	20.0	0.28	Poor
		Floor	2EE	20.1	1.77	15.9	0.23	Poor	24.1	0.45	21.8	0.10	Excellent	28.2	-1.34	19.3	0.30	Very poor
			2EC	20.1	1.77	16.4	0.20	Poor	24.1	0.45	24.1	0.00	Excellent	28.2	-1.34	22.7	0.19	Good
			3EEC	20.1	1.77	14.7	0.29	Poor	24.1	0.45	21.7	0.10	Excellent	28.2	-1.34	18.9	0.31	Very poor
The Corner between external and internal wall	living room	Ceiling	2EI	19.6	1.77	14.2	0.30	Very poor	23.8	0.45	20.8	0.13	Excellent	25.6	-1.34	21.5	0.15	Good
			2EC	19.6	1.77	14.7	0.27	Poor	23.8	0.45	20.9	0.12	Excellent	25.6	-1.34	22.7	0.11	Excellent
			2IC	19.6	1.77	16.0	0.20	Poor	23.8	0.45	22.5	0.06	Excellent	25.6	-1.34	25.2	0.01	Excellent
			3EIC	19.6	1.77	13.4	0.35	Very poor	23.8	0.45	20.1	0.16	Good	25.6	-1.34	21.1	0.17	Good
	누마루	Ceiling	2RD	18.7	1.77	15.4	0.19	Good	23.5	0.45	20.2	0.14	Excellent	29.2	-1.34	18.5	0.35	Very poor
			2ReD	18.7	1.77	15.9	0.17	Good	23.5	0.45	19.4	0.18	Good	29.2	-1.34	22.3	0.23	Poor
			3RDC	18.7	1.77	11.9	0.40	Very poor	23.5	0.45	15.5	0.35	Very poor	29.2	-1.34	20.0	0.30	Very poor
			1R	18.7	1.77	18.7	0.00	Excellent	23.5	0.45	20.9	0.11	Excellent	29.2	-1.34	25.7	0.11	Excellent
			1RC	18.7	1.77	18.1	0.04	Excellent	23.5	0.45	22.3	0.05	Excellent	29.2	-1.34	27.2	0.07	Excellent
			Galmosa nbang	18.7	1.77	14.7	0.24	Poor	23.5	0.45	17.5	0.26	Poor	29.2	-1.34	23.4	0.19	Good

1) Galmosanbang(갈모산방) : 한옥 추녀를 들어올리기 위해 서까래 하부에 들어가는 삼각형 모양의 목재 부재

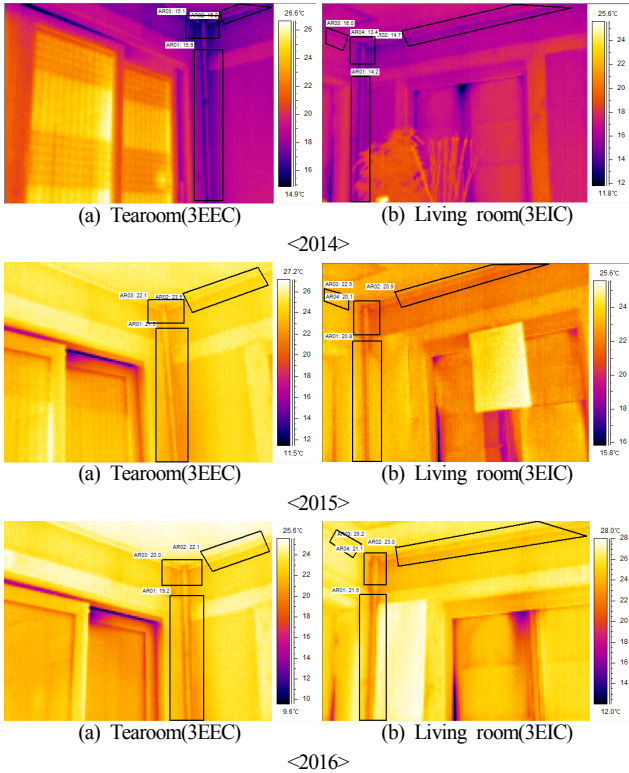


Figure 7. IR images analysis in Exhibition Han-ok

이는 실내온도와 실내 내표면 온도 차이가 줄어들수록 TDRi 수치가 감소하여 결로 발생 가능성이 줄어든다는 점에서 실내 온도가 매우 높다고 하여 TDRi 수치가 감소하는 것은 아닌 것을 의미한다고 할 수 있다. 물론 난방온도가 높을수록 실내온도가 높아질 수 있으며 내표면 온도도 높아질 수 있으나, 3차 측정시 온도는 동절기 쾌적한 온도에는 적합하지 않은 온도로 판단할 수 있다. 실내 온도와 내표면 온도차이를 Table 6에 정리한 결과, 오히려 2차 측정시 온도차이가 가장 작은 것으로 나타났으며, 내표면 온도차 비율 평가에 따른 결로 발생 가능성도 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

2D-3D 모서리 부위 비교 분석 결과, 3D 모서리 부위가 2D 모서리 부위에 비해 근소하게 높은 내표면 온도차 비율을 보이는 것으로 나타났다.

동일 공간 내 천장 모서리와 바닥 모서리를 비교한 결과, 1~3차 모두 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 천장 모서리를 통한 열손실과 바닥 모서리를 통한 열손실이 비슷하게 나타나고 있음을 의미하는 결과로 분석된다. 외벽과 내벽이 만나는 부위의 경우, 내벽과 만나는 천장의 TDRi 값이 외벽과 천장이 만나는 부위에 대한 값보다 상대적으로 낮게 나타나는 것은 외벽 부재를 통한 열손실이 당연히 더 발생하고 있음을 의미한다.

누마루 천장 모서리 부위에 대한 분석 결과, 당골막이와 서까래가 만나는 부위, 당골막이와 연목 개판이 만나는 부위는 비교적 비슷한 온도 분포를 보이면서 비슷한 평가량으로 산정되었으나, 수직 수평 부재와 서까래가 만나는 모서리 부위는 타 부위에 비해 상대적으로 낮은 내표면 온도를 보이고 있어 단열적으로 취약한 부위로 나타났다. 또한, 한옥의 처마를 들어 올리기 위해 서

까래 하부에 삼각형 모양으로 각을 잡아주기 위해 배치되는 삼각형 모양의 갈모산방의 경우 천장 부위 중 단열성능의 저하가 발생할 수 있는 위치로 분석된다. 일반적으로 나무 부재를 사용하여 제작하므로 당골막이와 더불어 단열성능 개선이 필요한 부위라 할 수 있다.

Table 6. Difference between Indoor and Internal surface Temp(°C)

Division	location	Measure-ment part	name	Difference between Indoor Temp and Internal surface Temp		
				2014	2014	2014
The case facing directly on the outside air	tearoom	Ceiling	2EE	4.2	2.6	9.0
			2EC	3.9	0.6	6.1
			3EEC	5.0	2.0	8.2
		Floor	2EE	4.2	2.3	8.9
			2EC	3.7	0.0	5.5
			3EEC	5.4	2.4	9.3
The Corner between external and internal wall	living room	Ceiling	2EI	5.4	3.0	4.1
			2EC	4.9	2.9	2.9
			2IC	3.6	1.3	0.4
			3EIC	6.2	3.7	4.5
	누마루	Ceiling	2RD	3.3	3.3	10.7
			2RcD	2.8	4.1	6.9
			3RDC	6.8	8.0	9.2
			IR	0.0	2.6	3.5
			IRC	0.6	1.2	2.0
			Galmosnabang	4.0	6.0	5.8

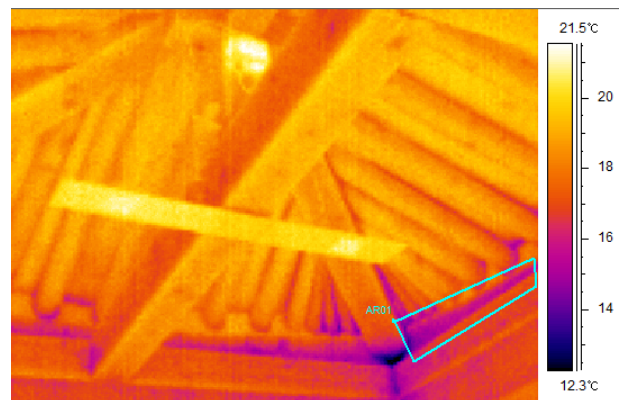


Figure 8. IR images of Galmosnabang(갈모산방)

공동주택 결로 방지 설계 기준(2지역 기준(0.25))을 이용하여 시범한옥의 현재(2016) 조건의 평가량을 비교하였다. 2D 부위 중 외벽과 천장 및 바닥이 만나는 부위는 기준을 만족하고 있으나, 외벽과 외벽이 만나는 부위나 3D 부위는 기준을 만족하지 못하는 수준으로 분석되었다.

그러나, 시범한옥은 실험한옥과는 달리 벽체 접합 방식이 목재 부재에 홈을 내고 벽체를 끼워 맞춰 시공하는 방식을 취하고 있으므로 상대적으로 단열성능 유지에 도움이 되는 것으로 나타났다. 이는 신한옥 설계 및 시공시 수직 수평 목재 부재에 홈을 내어 벽체를 시공하는 공법은 고려하는 것이 한옥 건축물의 단열성능 향상에 필요할 것으로 판단된다(Figure 9).

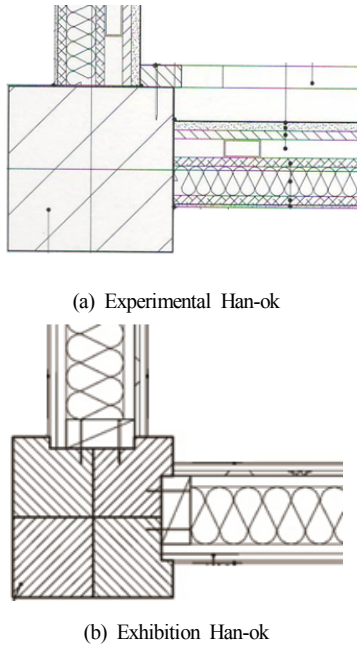


Figure 9. Details of external wall connection

3.3. 행복마을 신한옥 TDRi 평가 분석

행복마을 한옥은 전라남도에 있는 한옥으로 초기 건축 이래 동일한 거주자가 생활하는 10채의 한옥을 선정하여 측정 분석 평가하였다.

다만, 앞서 분석한 실험한옥과 시범한옥과는 달리 행복마을 한옥의 경우에는 측정 조건이 상이하다. 두 한옥의 경우 동절기 연속난방을 통해 한옥 전체 공간에 대한 난방을 하는 조건이었으나, 행복마을 한옥 거주자들의 경우 한옥 거주자수, 난방비 부담 등을 고려하여 연속난방을 하는 공간과 간헐적 난방을 하는 공간이 구분되어져 있는 점이 그 특징이라 할 수 있다. 따라서, 분석과 정에서 난방 방식 여부를 고려하여 분류하고 분석하였다.

동시에 한옥 내부에서 목재 부재의 노출 여부를 구분하였다 (Table 7). 침실의 경우 수평 수직 부재가 실내측에서 보았을 목재 부재가 가려진 비노출과 노출시로, 거실의 경우 서까래와 당골막이 부위 노출 여부에 따라 구분하였다.

분석 부위는 앞서와 동일하게 2D, 3D 모서리 부위 중심으로 진행하였으나, 측정이 이루어진 한옥은 모두 살림집으로 바닥 3D 부위는 대다수의 세대에서 가구가 배치되어 있으며, 한옥의 구조가 모두 상이하고 거주 여건에 차이가 있으므로 분류 방법에 따라 측정이 이루어진 내용만 분석 정리하였다.

각 공간별 난방 방식을 검토한 결과, 거실의 경우 한 세대만 제외하고 동절기에 연속난방을 하는 것으로 조사되었다. 행복마을 신한옥은 전체적으로 평면 구조상 거실 중심의 평면형태(Figure 10)를 취하고 있으므로 대부분의 거주자들이 거실에서 생활하고 있으며 난방방식을 결정하는 경향이 있다[2]. 침실은 잠을 자는 경우 연속난방을, 그렇지 않은 경우는 간헐적 난방을 하는 것으로 조사되었다.

Table 7. Exposure or not of wooden members

Division	Bedroom	Living room
HV-01	Exposure	Exposure
HV-02	No exposure	No exposure
HV-03	No exposure	No exposure
HV-04	No exposure	Exposure
HV-05	Exposure	Exposure
HV-06	Exposure	Exposure
HV-07	No exposure	Exposure
HV-08	No exposure	Exposure
HV-09	No exposure	Exposure
HV-10	Exposure	Exposure

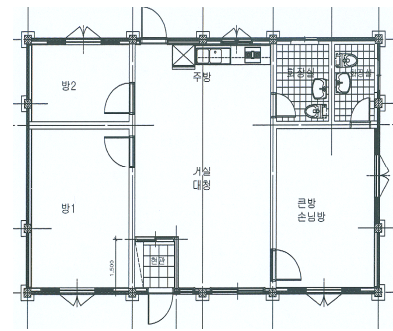


Figure 10. Floor Plan sample of Happy village Han-ok (H.V-4)

각 한옥 세대별로 난방방식, 모서리 부위, 침실과 거실 위치, 천장과 바닥 부위 등에 대한 내표면 온도차 비율 분석을 실시한 결과는 다음과 같다.

외기에 직접 면하는 침실 3D 모서리의 경우 연속난방시에 비해 간헐난방시 내표면 온도차 비율이 큰 차이를 보이며 증가하는 것으로 나타났다. 내표면 온도차 비율 평가를 통해 결로 발생 가능성에 대해 ‘양호(0.2 이하)’ 이상으로 판단할 수 있는 모서리는 연속 난방을 하는 세대는 단 1세대에 불과한 것으로 나타났다. 2D 모서리는 3D 모서리에 비해 상대적으로 내표면 온도차 비율이 낮게 나타나고 있으나, 연속난방을 한다고 하더라도 ‘불량(0.2~0.3)’, ‘매우 불량(0.3 이상)’을 초과하는 부위가 있는 것으로 분석되었다.

외벽과 내벽이 만나는 모서리 부위에 대한 분석 결과, 침실의 경우 3D 모서리 부위가 2D 모서리 부위에 비해 상대적으로 내표면 온도가 낮아지는 것으로 분석되었다. 거실의 경우에도 측정 한옥에 따라 일부 차이가 있으나 전체적인 경향은 3D 부위가 2D 부위에 비해 내표면 온도가 낮아져 열손실이 많은 부위로 분석되었다. 거실은 전반적으로 동절기 연속난방을 하는 생활공간임을 고려할 때 연속난방하는 침실에 비해서는 낮은 내표면 온도차 비율을 나타내고 있다. 이는 거실 공간이 침실 공간에 비해 상대적인 체적이 크다고 할지라도 연속난방을 하는 경우 실내 공기의 온도뿐만 아니라 내벽의 온도 상승도 유도하여 실내에서의 온열감을 유지하는데 도움을 주는 것으로 판단된다.

Table 8. Estimation of condensation possibility by TDRi(Happy village New Han-oks)

Division	Location	Measure-ment part	name	TDRi																			
				HV-1		HV-2		HV-3		HV-4		HV-5		HV-6		HV-7		HV-8		HV-9		HV-10	
				CH ¹⁾	LH ²⁾	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH	CH	LH
The case facing directly on the outside air	bedroom	Ceiling	2EE	0.45	-	0.41	0.67	0.42	0.60	0.33	0.40	-	0.60	0.29	0.68	-	0.79	0.25	-	-	0.47	0.27	
			2EC	0.30	-	0.43	0.57	0.36	0.58	0.29	0.35	-	0.49	0.13	0.57	-	0.68	0.26	-	-	0.38	0.27	
			3EEC	0.48	-	0.45	0.68	0.44	0.64	0.29	0.36	-	0.60	0.33	0.65	-	0.76	0.34	-	-	0.56	0.35	
		Floor	2EE	0.31	-	-	0.79	0.42	0.60	-	0.52	-	-	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			2EF	0.26	-	-	0.83	0.44	0.54	-	0.33	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			3EEF	0.29	-	-	0.87	0.50	0.62	-	0.42	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
The Corner between external and internal wall	bedroom	Ceiling	2EI	0.41	-	0.30	0.57	0.36	-	0.33	0.39	-	0.42	0.18	-	0.45	0.79	0.30	-	-	0.36	0.28	
			2EC	0.30	-	0.43	0.56	0.41	-	0.25	0.33	-	0.45	0.19	-	0.30	0.69	0.28	-	-	0.54	0.25	
			2IC	0.31	-	0.28	0.48	0.32	-	0.27	0.35	-	0.41	0.14	-	0.33	0.65	0.29	-	-	0.34	0.22	
			3EIC	0.61	-	0.38	0.57	0.43	-	0.32	0.34	-	0.52	0.22	-	0.48	0.82	0.37	-	-	0.56	0.27	
		Floor	2EI	0.44	-	-	0.63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.39	-	-	-	-	-	-
			2EF	0.25	-	-	0.60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.19	-	-	-	-	-	-
	living room	Ceiling	2EI	0.30	-	0.27	-	0.15	-	0.38	-	0.26	-	-	0.72	-	0.79	0.21	-	-	0.27	0.27	
			2EC	0.20	-	0.32	-	0.09	-	0.32	-	0.35	-	-	0.49	-	0.52	0.26	-	-	0.35	0.23	
			2IC	0.18	-	0.25	-	0.02	-	0.31	-	0.33	-	-	0.39	-	0.38	0.14	-	-	0.11	0.19	
			3EIC	0.31	-	0.42	-	0.13	-	0.38	-	0.50	-	-	0.72	-	0.79	0.25	-	-	0.41	0.31	
		Floor	2EI	0.49	-	-	0.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			2EF	0.22	-	-	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Living room ceiling	living room	Ceiling	2RD	0.55	-	-	-	-	0.44	-	0.42	-	-	0.76	-	0.67	0.26	-	0.25	-	0.36		
			2RcD	0.52	-	-	-	-	0.46	-	0.40	-	-	0.85	-	0.65	0.27	-	0.29	-	0.37		
			3RDC	0.52	-	0.42	-	0.27	-	0.50	-	0.45	-	-	0.84	-	0.73	0.31	-	0.30	-	0.39	
			1R	0.36	-	-	-	-	0.26	-	0.17	-	-	0.56	-	0.28	0.15	-	0.10	-	0.21		
		Ceiling	1RC	0.14	-	0.16	-	0.11	-	0.17	-	0.05	-	-	0.38	-	0.09	0.08	-	0.01	-	0.15	

1) C.H : Continuous Heating
2) I.H : Intermittent Heating

4. 결론

서까래가 노출된 거실 천장의 경우 서까래와 당골막이가 만나는 부위, 당골막이와 개판이 만나는 부위, 3D 모서리 부위가 유사한 수치를 보이며 열손실이 발생하는 것으로 나타났다. 천장은 바닥 복사 난방의 영향으로 인해 난방 열이 수직방향으로 상승하여 서까래와 개판 부분의 온도 향상을 가져오고 있어 다른 부위에 비해 상대적으로 낮은 내표면 온도차 비율을 보이는 것으로 나타났다.

외벽과 외벽이 만나는 침실 모서리에 대해 실내측에서 바라볼 때 목재 부재의 노출 여부에 따른 내표면 온도차 비율을 분석하였다. 이는 목재 노출이 단열성능 저하에 미치는 영향을 보기 위함이다. 연속난방을 하는 경우를 중심으로 비교한 결과, 목재 부재가 노출이 내표면 온도차 비율이 증가로 이어지는 것은 아닌 것으로 나타났다. 신한옥을 짓는 과정에서 목재 부재와 벽체 부재의 접합부 시공성을 확보함에 따라 충분히 실내측에서도 한옥의 목재로 인한 자연친화적인 미적인 상태를 유지하면서도 단열성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.(Table 9).

Table 9. TDRi According to the exposure of wooden members

Division	HV-1	HV-2	HV-3	HV-4	HV-6	HV-8	HV-10
2EE	0.45	0.41	0.42	0.33	0.29	0.25	0.27
2EC	0.30	0.43	0.36	0.29	0.13	0.26	0.27
3EEC	0.48	0.45	0.44	0.29	0.33	0.34	0.35
Exposure	Exposure	No	No	No	Exposure	No	Exposure

신한옥은 일반적인 현대 건축물과는 달리 목재를 중심으로 다양한 부재의 접합을 통해 구성되는 방식이므로 이질 재료 접합부위를 통한 틈새를 통해 열교 발생 가능성이 높다. 또한, 한옥마다 각기 다른 평면과 각기 다른 재료(주재료, 단열재, 마감재 등)로 건축되고 있으며, 거주자들로 각기 다른 온열환경 조건을 유지하기 때문에 동일한 조건으로 평가하기에는 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 신한옥 거주자들이 가장 개선이 필요한 부위로 언급한 벽과 기둥 접합부를 중심으로 분석을 진행하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 다양한 유형의 신한옥의 외벽 모서리 2D 및 3D 부위에 대한 내표면 온도차 비율 분석 결과, 3D 모서리인 외벽&외벽&천장(바닥) 부위가 2D 모서리(외벽&외벽, 외벽&천장, 외벽&바닥 등)에 비해 상대적으로 취약한 것으로 나타났다. 접합 부재의 수가 상대적으로 많아지므로 당연한 결과라 할 수 있으나, 이는 신한옥의 단열성능을 향상시키기 위해 여전히 접합부 시공 기술 개발의 필요성을 단적으로 보여주는 결과라 할 수 있다.

다만, 목재 기둥과 창방 등에 흠을 내어 벽체를 끼워 맞추는 접합을 사용하는 경우가 기둥에 흠을 내지 않고 벽체는 시공하는 경우에 비해서 결로 발생확률이 낮아지는 것으로 나타나 신한옥 초기 설계 및 시공 과정에서 수직 수평 목재 부재에 흠을 내어 벽체를 시공하는 공법은 반드시 필요할 것으로 판단된다.

2) 신한옥 모서리 부위의 단열성능을 유지할 수 있는 시공법 및 친환경 보수 보강 기술 개발이 필요하다. 목재 기둥과 벽체 접합부 모서리 부위에 대한 내표면 온도차 비율 분석 결과, 전반적으로 결로 발생 확률이 높은 것으로 분석되었다.

신한옥과 같은 목조 건축물은 한옥 건축 이후 일정 시간 경과 후 목재 수축에 따라 필연적으로 발생하는 틈으로 인해 단열성능 저하가 동반되게 된다. 이를 해결하기 위해 일부 한옥 거주자들은 현대식 보수 보강 재료인 실리콘 등을 활용하여 틈새를 메우는 경우가 많으나, 한옥의 미관과 친환경성을 해치는 역효과가 발생하고 있다. 따라서, 목재 수축에 보다 유연하게 대응할 수 있는 단열성능 유지장치의 개발과 발생한 틈새를 보강할 수 있는 친환경 보수 보강 기술 개발 또한 양질의 신한옥을 보급하는데 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

3) 거실의 온열감을 유지하기 위해서는 서까래와 당골막이가 만나는 부위에 대한 단열성능 향상 공법이 필요하다. R&D 성과물로 구축된 실험한옥이나 시범한옥의 경우 행복마을 한옥의 당골막이에 비해 높은 열적 성능을 유지하는 것은 당골막이의 기술 개발에 따라 성능을 유지할 수 있음을 보여주는 결과이다.

또한, 일부 신한옥의 경우, 미적 측면을 강조하여 외벽 상부에 단일 목재 부재로 시공하는 경우(소로, 방막이, 갈모산방 등)가 있는데 이는 열적으로 매우 취약한 부위가 될 수 있으므로 설계 단계에서부터 적용 방식에 대한 깊은 고민이 필요할 것으로 판단된다.

4) 침실 외벽 모서리 부위 목재 노출 여부에 따른 단열성능 평가 결과, 목재 부재가 노출이 단열성능의 저하로 이어지는 것은 아닌 것으로 나타났다. 신한옥 시공시 목재 부재와 벽체 부재의 접합부 시공성을 확보함에 따라 충분히 실내측에서도 한옥의 목재로 인한 자연친화적인 미적인 상태를 유지하면서도 단열성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

5) 신한옥 실내에서 온열감을 유지하기 위해서는 간헐적 난방보다는 연속난방을 하는 것이 필요하다. 내표면 온도차 비율 분석 결과, 동일 신한옥 건물 내에서도 난방하는 방식에 따라 연속 난방시 간헐 난방에 비해 실내 내벽의 표면 온도가 높게 나타났다. 이는 결로 발생 확률 측면에서도 실내 표면의 온도가 높게 유지되어 결로 발생 가능성을 줄여주는 효과가 있는 것이다. 실제 이와 관련해서 현대 신한옥 거주자들을 대상으로 한 설문조사 연구[2]에서 복수난방 열원을 사용하여 전체 난방을 하는 것이 선택적 난방을 하는 방식에 비해 양질의 온열환경을 유지하면서 난방비도 감소한다는 것과 유사한 결과라 할 수 있다.

본 연구에서는 주로 목재 부재와 벽체 접합부 모서리 중심으로 분석을 실시하였으나, 신한옥은 이 부위 뿐만 아니라 벽체와 창호가 만나는 부위, 출입구 주위 벽 등 열적으로 취약한 부위가 많이 있다. 따라서, 보다 실질적인 성능 향상을 위해서는 다른 시공요소 디테일에 대한 연구도 추가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (1313AUDP - B070244-01) from Urban Architecture Research Program (Development of Hanok Technology, Phase II) funded by Ministry of Land Transport Affairs of Korean Government.

참고문헌

- [1] 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의 「도시건축연구사업」 중 「한옥기술개발 : 한옥마을 및 신한옥형 공공건축물 최적화 모델 개발 및 구축」과제의 실증사업, 설계 및 시공사 선정 후 현재 공사 진행 중 2016.4 // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The Technical Development of Hanok from Urban Architecture Research Program, 2016.04)
- [2] 이주엽 외 4인, “현대 신한옥 주거환경 여건에 따른 거주성 만족도 분석”, 한국생태환경건축학회 논문집, 제15권 제4호, 2015.8 // (Lee, Ju-Yeob other 4, An analysis on the Living Performance Satisfaction Ratio according to the Residential Environment Conditions in Modern New Han-oks, Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Korea Vol.15, No. 4, 2015.08)
- [3] 한국표준협회, KS F 2829(적외선 촬영법에 의한 건축물 단열 성능 평가 방법), 2005 // (KSA, KS F 2829, “Thermal performance of buildings - Quantitative detection of thermal irregularities in building envelopes - Infrared method”, 2005)
- [4] 최경석, “적외선 열화상 측정법에 의한 건축물 단열성능 현장평가에 관한 연구”, 한양대학교 박사학위논문, 2010.8 // (Choi, Gyoung-Seok, On-site Evaluation for Thermal Performance of Building Envelopes using Infra-red Method, 2010.8)
- [5] 장윤성 외 6인, “적외선 열화상과 온도차 비율법을 이용한 목조 주택의 열환경 평가”, 한국목재공학회 논문집, 제38권 제6호, 2010 // (Chang, Yoon-Seong other 6, Thermal Environment Evaluation of Wooden House Using Infra-red Thermal Image and Temperature Difference Ratio(TDR), Journal of the Korea Society of Wood Science Technology, Korea, Vol.38, No.6, 2010)
- [6] 이원규 외 4인, “‘영창 교체식 한옥 시스템 창호’의 열화상 모니터링 연구”. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 제35권 제1호, 2015.4 // (Lee Won Gyu other 4, A Study on the Monitoring of Thermal Camera of the 'Korean-style House System Window Door', The Proceedings of the Architectural Institute of Korea, Vol.35, No. 1, 2015.4)
- [7] 장철용 외 3인, “스틸스터드 형상 변화에 따른 건식 벽체의 열성능 평가, 대한건축학회 논문집, 제 27권 제6호, 2011.6 // (Jang Cheol-Yong other 2, A Study on Thermal Performance Evaluation of Dry Wall According to Shape of Steel Stud, Journal of The Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Korea, Vol.27, No. 6, 2011.6)
- [8] 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 한옥기술개발연구단, “한옥기술개발연구단 세부성과 자료집”, 2013.9 // (Ministry of Land, Development of Modernized Hanok technology, 2013.9)
- [9] 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 한옥기술개발연구단, “한옥기술개발 부위별 적용기술 설명서”, 2015.4 // (Ministry of Land, The Specification of Applied Techniques by Part in Hanok, 2015.4)
- [10] 전라남도, “행복마을 조성사업 추진현황(‘15년 8월 현재) 자료”, 2015 // (Jeonnam Provincial Government, Happy Villages Development project in Jeonnam (2015.08)
- [11] 국토교통부, 고시 제2016-238호, 공동주택 결로 방지를 위한 설계 기준, 2016.5.4(개정) // (Ministry of Land, Public notice No. 2016-238, Design guideline for prevention of condensation in Apartment house, 2016.5)