KIEAE Journal, Vol. 18, No. 3, Jun. 2018, pp.65-75.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

91

결로 발생 확률 평가를 통한 현대 신한옥 단열성능 향상 방안 연구

Methods for the Thermal Performance Improvement of Modern New Han-oks using Estimation of Condensation Probability

이주엽* · 천득염** · 주수정*** · 이태강**** · 한승훈*****

Lee, Ju-Yeob* · Cheon, Deuk-Youm** · Joo, Su-Jeong*** · Lee, Tai-Gang**** · Han, Seung-Hoon*****

* Main author, Building and Environment Noise Consulting Co., Ltd, South Korea (weaponlee@hanmail.net)
** Corresponding author, Dept. of Architecture, Chonnam National Univ, South Korea (dycheon@jnu.ac.kr)
*** Building and Environment Noise Consulting Co., Ltd, South Korea(3537sj@naver.com)
**** Building and Environment Noise Consulting Co., Ltd, South Korea(leetaigang@hanmail.net)
***** Dept. of Architecture, Chonnam National Univ, South Korea (hshoon@jnu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In order to supply modern new han-oks having excellent thermal performance, careful review in the process of initial architectural planning step is required. The purpose of this study is to verify design guidelines that can maintain and improve environmental performance though analysis of estimation of condensation probability affected by initial design planning **Method:** To achieve this goal, measurements were carried out 6 Han-oks situated in OJUK han-ok village which were demonstrated to Gang-neung by taking a infra-red thermography using thermal video system. All evaluation targets are new han-oks style which the same structure and materials are applied. Following are analysis items; the exposure or not of wooden members, the difference according to the space usage, layout of the stationary closet facing directly on the outdoor air or not, influence of distributed arrangement of space using water, planning around the house door facing directly on the outdoor air and so on. **Result:** It was analyzed that the probability of condensation in case of the exposure of wooden members is higher than that of non exposed installation. Also, it was analyzed that the house door space facing directly the outside air needs introduction of entrance concept space which can minimize the heat loss. In stationary closet planning, it is necessary to consider the position of closet and the range of heating. And, it is judged that a separation planning between the space using water and the unused area is necessary.

ⓒ 2018 KIEAE Journal

KEYWORD

신한옥
결로 발생 확률
건축계획
단열성능
내표면 온도차 비율

New Han-ok
Condensation Probability
Architectural Planning
Thermal Performance
Temperature Difference Ratio inside

ACCEPTANCE INFO

Received May 3, 2018
Final revision received Jun 14, 2018
Accepted Jun 19, 2018

1. 서론

최근 한옥은 환경친화적 건축이라는 인식으로 인해 한옥에서의 생활을 희망하는 거주자들에게 신한옥이라는 형태로 공급되고 있다. 이를 위해 정부에서도 경제성이 확보된 양질의 주거형 한옥을 공급의 일환으로서 진행하는 도시건축연구사업을 통해 한옥의 성능향상을 위한 설계 및 시공기술 개발연구를 진행하고 있다 [1]. 그 과정에서 한옥의 지속적인 성능향상 목표를 달성하기 위해 주요 개발 기술 및 공법을 적용한 실증한옥을 구축하였으며, 특히 환경성능에 대한 장기적인 모니터링 평가를 통해 성능향상에 필요한 요소를 찾기 위한 노력을 지속하고 있다.

특히, 현대 신한옥 건축은 전통 구법에 따른 목조 구조부와 이질재(건식벽체, 창호시스템, 단열재, 바닥시스템 등)의 건축부재가 접합되는 건축 형식의 개선을 통해 전체적인 성능개선 및 공기단축 효과를 기대하고 있으며, 한옥의 장점이라 일컬어지는 목재의 구조미를 반영하여 공간적 및 의장적 효과를 동시에 얻기 위한 노력을 하고 있다. 그러나, 설계 및 시공과정에서 목구조의 의장적 효과를 우선시한 건축계획이 이루어지다 보니, 실제 한옥 건축 이후 사용 과정에서 발생하는 열손실로 인해 온열환경 측면에서 거주자의 쾌적감을 떨어뜨리는 경우가 발생하고 있다.

예를 들어, 단열처리가 충분하지 않은 채 천장부의 목구조부 노출, 외기에 직접 면하는 공간에 대한 배치문제, 바닥난방이 이루어지지 않는 고정 수납공간으로서의 벽장을 배치하는 경우, 물 사용 공간의 확대 배치(파우더룸, 세면대를 설치한 욕실 앞 전실 배치 등)로 인한 바닥 난방 범위의 문제 및 외기와 내기를 직접 분리하는 주출입문의 설치(현관 공간 미계획) 등과 같은 평면 및 공간계획 사례를 찾아볼 수 있다.

물론 건축 계획 과정에서 건축 공간의 규모, 용도실의 배치, 한옥의 의장성 및 전통한옥이 주는 느낌 등을 반영하기 위한 관점에서의 설계 개념과 접근 방법이 있다. 그러나, 대중성과 경제성을 확보한 한옥을 소비자에게 보급하여 온열환경 측면에서 에너지 소비량을 줄여 나갈 수 있는 형태의 한옥 건축을 공급하기 위해서는 한옥 건축 계획 과정에서 살려나갈 것과 줄여나갈 것에

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2018.18.3.065

대한 면밀한 검토는 필요하다고 판단된다.

이를 위해 신한옥 및 목조 건축물과 관련하여 열화상 분석 방법을 활용해 외벽의 결로 발생 확률 평가를 실시한 기준 연구를 고찰하였다. 이주엽 외(2016) 연구에서 실험용 Mock-up한옥 및 이미 거주자가 생활하는 전라남도 행복마을 한옥을 대상으로 외벽 모서리에 대한 내표면 온도차 비율 평가를 진행하였다 [2]. 상기 연구에서는 경년변화에 따른 영향과 더불어 난방 방식 등을 통해 결로 발생 확률 평가에 미치는 영향을 분석한 바 있다. 이원규 외(2015)는 한옥 건축물에 시공가능한 전통창호·한식유리창호와 개발 과정에 있는 별도 창호에 대해 열화상 분석을 통해 비교 평가한 바 있다 [3]. 장윤성 외(2010)는 한옥과는 다소 다른 목조 주택의 열성능에 대해 내표면 온도차 비율 평가에 따른 결로 발생확률 평가를 한 바 있다. 이외에도 한병민 외(2015) 연구에는 공동주택을 대상으로, 최경석 외(2004) 연구에서는 다세대주택·공동주택·사무소 건축물에 대해 결로 발생 확률 평가를 실시한 바 있다 [4,5,6]. 열화상 결로 발생 확률에 대한 평가는 공동주택과 같은 현대식 건축물 중심으로 결로 방지 설계 관점에서 이루어지고 있으므로, 신한옥을 대상으로 한 성능평가에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 이미 건축되어 사용 중인 한옥 건축물에 대해 건축물의 단열성능을 공간적으로 평가할 수 있는 평가법인 KS F 2829(적외선 촬영에 의한 건축물의 단열성능 평가방법)을 적용한 건축물 외벽 부위에 대한 결로 발생 확률 평가를 통해 신한옥의 단열성능 수준을 평가하고, 건축 설계 및 시공과정에서 고려해야 할 사항을 도출하고자 한다.

특히, 설계 조건에 따라 달라질 수 있는 단열성능 분석 결과로부터 향후 건축될 수많은 한옥 설계에 반영할 수 있는 설계 영향요소를 분석하고자 한다. 이는 본 연구뿐만 아니라 향후 건축될 수많은 신한옥의 설계에 반영할 수 있는 설계 및 시공 가이드의 역할을 할 것으로 판단되며, 한옥의 유지 관리를 통해 단열성능을 향상시킬 수 있는 단열 보강 기술의 개발로 연결되어 실질적인 한옥의 환경성능 향상 효과를 기대한다.

2. 평가 방법 및 내용

2.1. 평가 대상

상기 목표를 위해 본 연구에서는 한옥기술개발연구를 통해 조성된 실증한옥 단지인 강릉 신한옥 시범마을 단지의 한옥을 대상으로 하였다. 강릉 신한옥 시범마을은 숙박이 가능한 18개동의 한옥과 관리를 위한 1개동으로 2016년 9월에 구축된 시범 한옥마을로서 지금은 강릉 오죽한옥마을로 알려져 있다 [7].

본 한옥마을은 주거형 단독주택 형식의 한옥으로 조성된 시범마을로서 현재는 한옥 체험을 희망하는 숙박객을 위한 숙박형 시설로서 운영하고 있는 상태이다. 평면 형식은 총 6개 유형(보급형, 일반형, 고급(단층)형, 고급(복층)형, 최고급형, VIP형)이나, 건축된 모든 한옥의 목조 축조 방식과 외벽 부재, 창호 시스템, 지붕시스템 등은 모두 동일한 구법과 재료가 적용되었으므로 본 연구에서는 각 평면 유형별로 최소 1개동씩 총 6개동을 선택하여 측정하고 그 결과를 분석하였다.

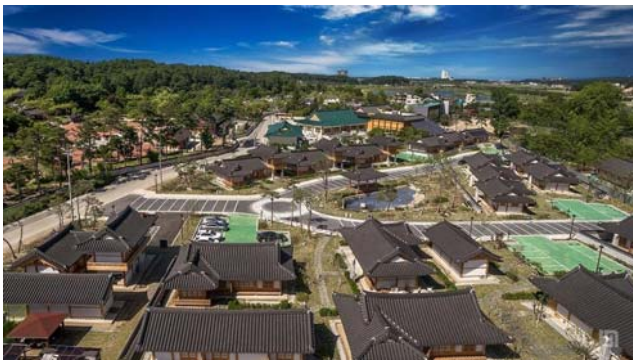
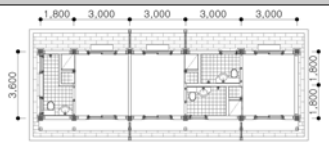
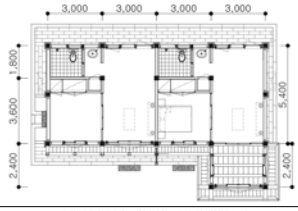
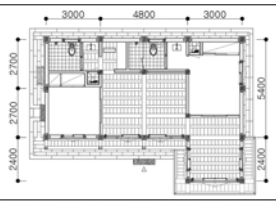
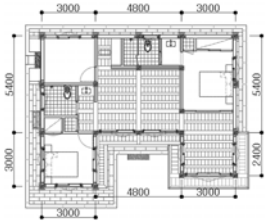


Fig 1. Landscape of OJUK Han-ok Village[8]

Table 1. Division of Floor Plan Types

Division	Floor Plan
Popular type (보급형) 1F 49.68㎡	
General type (일반형) 1F 72㎡	
Luxurious type (one-storied) 고급(단층)형 1F 50.40㎡	
Luxurious type (duplex) 고급(복층)형 2F 104.40㎡	
Super Luxurious (최고급형) 1F 65.52㎡	
VIP type (VIP형) 1F 74.52㎡	

1) Division of Floor Plan Type(name) : O-juk Hanok village homepage

Table 1.은 측정 대상 한옥 유형별 평면도를 나타낸 것으로 각 평면의 유형은 실증 구축 계획 과정에서 명명되었다. 6개 유형 중 고급(복층)형만 유일하게 2층을 취하고 있으며 다른 한옥은 모두 단층한옥을 취하고 있다. 보급형, 일반형 및 고급(복층)형은 세대간 경계벽이 있는 형식을 취하고 있으므로 한옥 거주자간의 소음프라이버시 확보를 위해 차음성능 인정 구조를 받은 벽체를 시공하였다. 각 한옥은 침실 1개 공간에 화장실 1개를 최소 조건으로 하고 있으며. 난방을 위해 화장실 옆 공간에 보일러 설치 공간을 별도로 배치하고 필요시 수리가 가능하도록 출입문을 설치하였다. 면적이 상대적으로 큰 최고급형과 VIP형의 경우 거실(대청)을 중심으로 주변에 주요 공간이 배치되는 현대 주택 평면을 취하고 있는 것이 특징이다.

2.2. 측정 및 평가방법

측정과 평가는 KS F 2829 규격에 따라 실시하였으며, 내표면 온도차 비율을 산출하기 위한 측정 기본 조건은 다음과 같다.

첫째, 실내온도는 벽체 내표면 2m 이내의 실내온도를 측정

둘째, 실외온도는 측정 시각으로부터 과거 3일간 외기 평균 온도를 적용

셋째, 실내 표면 온도는 측정 대상 부위의 내표면 온도로 함

넷째, 외기 조건은 실내온도와 과거 3일간 외기 평균 온도와 차이가 10℃이상일 경우에 한하여 내표면 온도차 비율 산출

따라서, 상기 조건에 맞는 조건으로 실내온도와 과거 3일간의 외기 평균 온도 차이가 10℃ 이상일 경우의 조건으로 2018년 1월 동절기에 측정을 수행하였다.

Table 2. The index examples of the probability of Condensation According to TDRi[10]

Thermal Performance	Thermal Bridge Range	TDR	Probability of Condensation
Excellent	Ignore	<0.15	(In standard temperature condition of indoor 20℃ and outdoor -10℃) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 85%
Good	Suitable	0.15 ~0.2	(In standard temperature condition of indoor 20℃ and outdoor -10℃) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 80% and is generated over relative humidity 85%
Poor	Heavy	0.2 ~0.3	In standard temperature condition of indoor 20℃ and (outdoor -10℃) The performance that the condensation isn't generated below the minimum relative humidity 70% and is generated over relative humidity 80%
Very Poor	Very Heavy	>0.3	(In standard temperature condition of indoor 20℃ and outdoor -10℃) The performance that the condensation is generated under relative humidity 70%

측정된 결과에 대한 분석방법은 KS F 2829에 제시된 바와 같이 발생 확률 평가를 위해 산출할 수 있는 내표면 온도차 비율(TDRi)을 산출하여 진행하였다 [9].

$$TDRi = \frac{Ti - Tis}{Ti - To} \quad \text{(식1)}$$

여기서, Ti : 실내 온도(℃)

To : 외기 온도(℃)로 측정 이전 시점 72시간 평균치

Tis : 외피의 내표면 온도(℃)

산출된 비율에 대한 분석은 KS F 2829에 제시된 결로 발생 확률에 대한 평가방법을 활용하였다(Table 2.). 이 평가방법은 실내공기와 실내표면의 온도차가 적을수록 평가된 TDR 수치가 낮아지게 되어 특정 조건에서 결로 발생확률이 낮아지며 열교 발생 범위가 줄어드는 것으로 평가가 가능하다.

2.3. 평가 내용

단열성능 평가는 다음과 같은 항목에 대해 비교 분석하였다(Fig 2.).

첫째, 주요 공간 목구조부 노출 여부에 따른 영향을 분석하였다. 한옥 건축물은 건축주의 요구와 설계자의 계획에 따라 주요 실내 공간 중 일부 공간의 천장 목구조부를 노출하여 시공하는 경우가 있다. 동일한 건축구조를 취하는 조건에서 목구조 노출 및 비노출에 따른 단열성능 수준 차이 분석을 통해 실내 온열감에 유리한 조건을 확인할 필요가 있다고 판단하였다.

둘째, 공간 사용 용도별 외벽 접합부 바닥부위 단열성능 차이를 분석하였다. 한옥 건축은 공간 배분 계획할 때 목조 특성을 반영한 대청, 누마루와 같은 공간 배치를 하는 경우를 종종 찾아볼 수 있다. 전통적인 한옥 분위기 조성을 위해 외기에 직접 면하는 면 구성이 많아지며 목구조 노출을 통해 미적 수려함을 보여주는 효과가 있으므로 활용되고 있으나, 이러한 공간 구성시 결로 발생 확률에 미치는 영향을 분석할 필요가 있다고 판단하였다.

셋째, 수납공간으로서 벽장 공간을 건축 설계에 도입하였을 경우 벽장 내부의 단열성능을 분석하였다. 한옥 건축에 도입되는 벽장은 상시적으로 닫힌 상태로 유지될 수 밖에 없으므로 환기에 불리한 조건을 갖고 있으므로 눈에 쉽사리 띄지 않지만 결로 발생 확률이 높아질 수 있다. 분석 과정에서 이러한 벽장이 외기에 직접 면하고 있을 때와 직접 면하지 않는 경우를 비교하여 벽장 계획을 고려할 때의 적절한 위치를 고민하였다.

넷째, 한옥 건축물 내에서 물(水)을 사용하는 공간을 여러 곳에 배치하는 경우에 발생할 수 있는 영향을 분석하였다. 물을 사용하는 공간이 욕실 및 화장실과 분리되어 배치되면 해당 공간의 경우 바닥 단열 및 난방 범위에 영향을 줄 수 있으므로 공간 전체에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

다섯째, 한옥의 주출입문이 외기에 직접 면하는 경우 실내의 온열감에 미치는 직접적인 영향을 분석하였다. 현대 건축에서 볼 수 있는 현관 공간을 통한 외기와 내기가 완충되는 공간 부재에 따라 실내 온도분포에 미칠 수 있는 영향 정도를 분석하였다.

분석은 2개의 벽과 천장 및 바닥이 만나는 모서리(이하 3D 모서리-3면이 만나는 부위) 위치를 중심으로 한 열화상 분석 자료의 최저온도점을 대상으로 하였다. 이는 현행 KS F 2829의 결로 발생 확률에 대한 평가 조건과 신한옥 거주자들을 대상으로 한 만족도 조사 연구에서 거주자들이 가장 개선이 필요로 하는 부위

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

로 '벽과 기둥의 접합부'가 성능에 영향을 미치는 부위로 언급되고 있으므로 해당 부위를 분석의 대상으로 하였다 [10].

결과 분석을 위해 평가 위치에 대한 부재 접합부에 대한 범례는 Table 3.과 같이 명명하였다.

본 연구의 범위에서 창호 및 창틀에 대한 평가는 제외하였으며, 향후 추가적인 측정 및 분석을 통해 적정한 평가 방법 및 결과를 분석할 계획이다.

Table 3. Evaluation details

Element						Name (ID)
External wall-1	External wall-2	Internal wall-1	Internal wall-2	Ceiling	Floor	
○	○			○		EEC
○	○				○	EEF
○		○		○		EIC
○		○			○	EIF
		○	○	○		IIC
		○	○		○	IIF

또한, 설계 단계에서 결정한 주요 외벽 부재에 대한 열관류율 목표 수준 대비 실증한옥의 성능 수준을 판별하기 위해 KS F 2829에 제시된 벽체 내표면 결로 판정 지표 예시와 비교 분석을 실시하였다.

Table 4.는 평가 대상이 되는 외벽 부재, 바닥, 천장(지붕) 구조에 대한 상세 도면이다. 본 연구의 실증한옥 외벽체 내표면 평가 대상 범위는 외벽 모서리를 중심으로 진행하였으므로 상기 부재에 한정하여 도면을 수록하였다.

설계 당시 각 부재의 열관류율 목표 수준은 설계 당시의 건축물의 에너지절약설계 기준(국토교통부 고시 제2015-596)으로 설계한 바 있다. 본 실증한옥의 경우 설계 목표로서 열관류율 기준을 충족하는 부재 시공을 목표로 설계가 반영되었으며 실제 시공되었다. 따라서, 현재 개정 강화된 기준(국토교통부 고시 제2017-881)과 비교하면 기준치에 부족한 수준이라 할 수 있다.

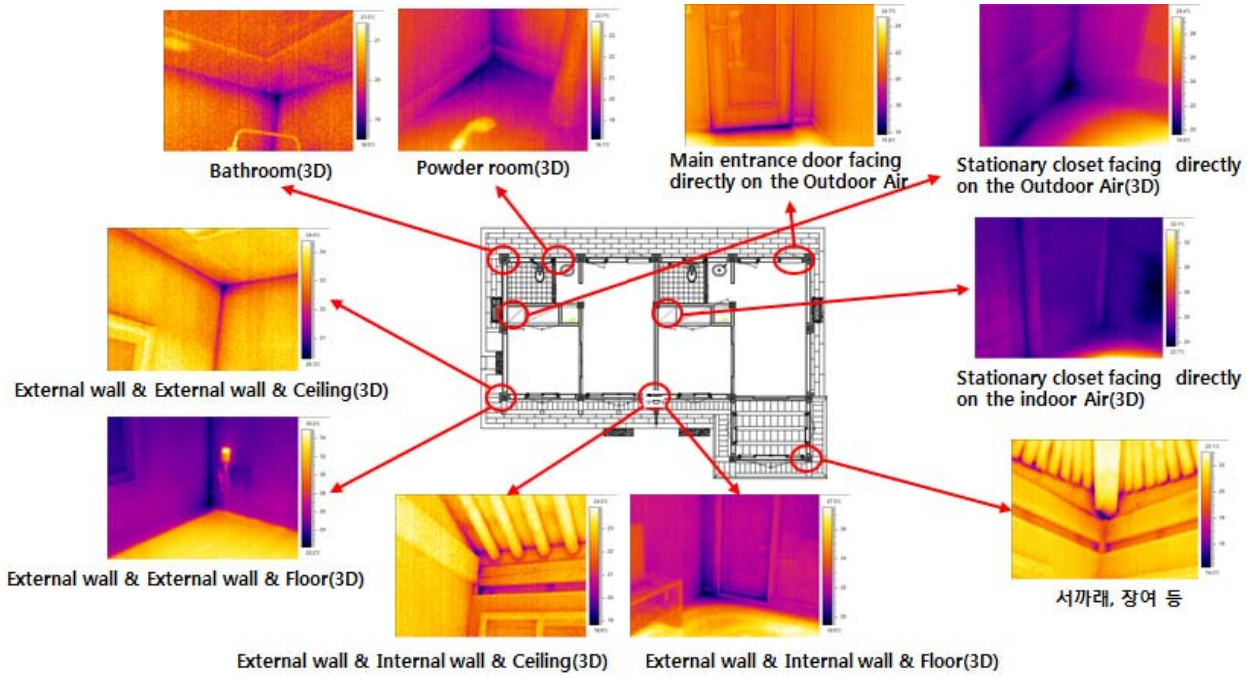
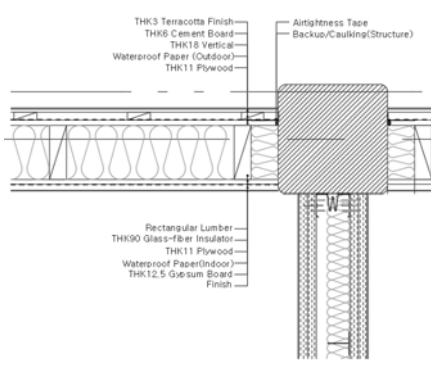
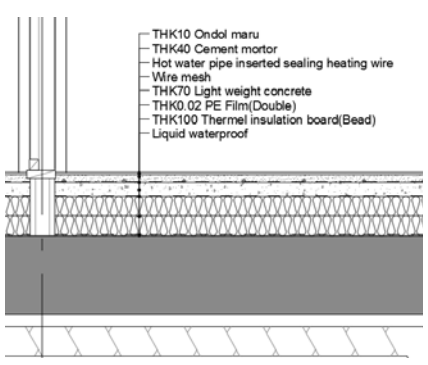
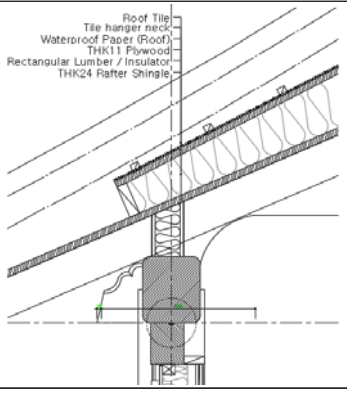


Fig 2. Examples of IR images for analysis(ex. General Type Plan)

Table 4. Details of main external elements

(a) External wall(Exposure of Wooden members) K=0.337W/m²k(calculated)	(b) Floor K=0.142W/m²k(calculated)	(c) Roof K=0.146W/m²k(calculated)
		

현장 실증구축한 신한옥의 외벽 부재의 열관류율 수준은 외벽 0.337W/㎡k, 바닥 0.142W/㎡k, 천장이 노출된 지붕은 0.146W/㎡k으로 설계 되었다. 본 수치는 주요 목조 구조부재가 노출된 경우를 최소 조건으로 하여 열관류율을 산정한 결과이다.

본 연구는 한옥 공간을 기준으로 재실자에 직접적인 영향을 미칠 수 있는 외벽 부재를 중심으로 벽체와 천장이 만나는 부위, 벽체와 바닥이 만나는 부위에 대한 분석을 진행하였다.

3. 평가 결과 분석

3.1. 목구조 노출 여부에 따른 영향 분석

목구조부의 노출은 한옥 내부의 천장 마감 조건과 관련이 있으므로 외벽과 외벽 및 천장이 만나는 부위(EEC)와 외벽과 내벽 및 천장(EIC)이 만나는 부위 중심으로 분석을 진행하였다.

목구조가 노출된 천장 모서리 부위의 전체적인 평가량은 목구조를 노출하지 않은 경우에 비해 상대적으로 결로 발생 확률이 높은 것을 확인할 수 있다.

외벽과 외벽이 만나는 천장 부위는 목구조 비노출시 최소 0.08~0.40의 평가량을, 노출시 0.29~0.73의 평가량을 나타내고 있다. 결로 발생 확률에 대한 판정 지표에 따라 '우수'부터 '매우 불량'까지의 비율을 비교 평가한 결과 비노출시 '우수'와 '양호' 비율은 약 43% 수준으로 나타났으나, 노출한 구조는 0% 비율을 보이는 것으로 나타났다(Fig 4.).

공간에 따른 차이를 분석한 결과 목재 천장부가 노출되는 누마루 공간의 경우 측정 위치에 따른 결로 발생 확률이 침실이나 대청에 비해 전반적으로 높은 결과를 보여주고 있다. 대청 공간의 경우 목재 천장을 노출하지 않는 경우 침실과 비슷한 수준으로 분석되었다.

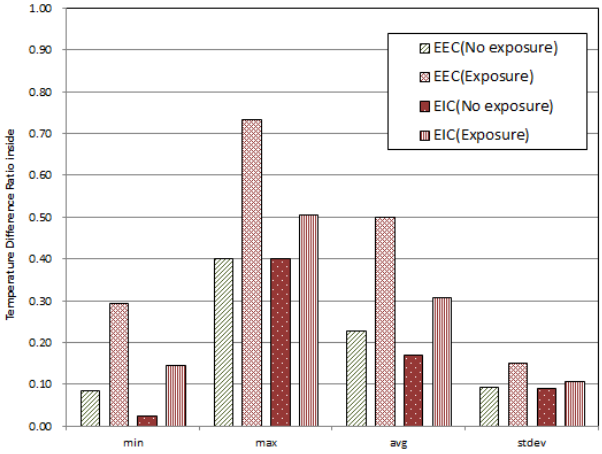


Fig 3. Comparison analysis on TDRi according to the Exposure or not of Wooden members

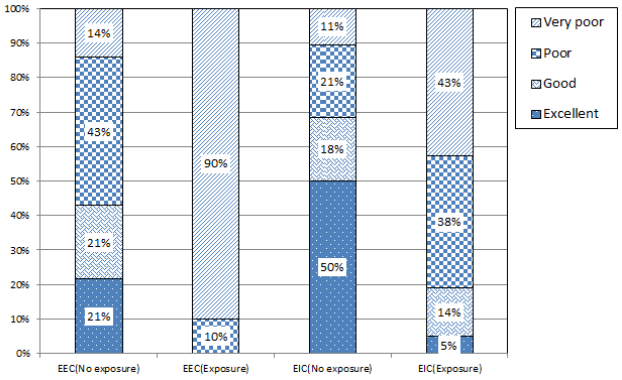


Fig 4. Comparison analysis on the Estimation of condensation possibility according to the Exposure or not of Wooden members

Table 5. Estimation of condensation probability by TDRi (Exterior wall & Exterior wall & Ceiling)

Plan Type	Housing Division	No exposure of wooden members						Exposure of wooden members					
		Room Use	Indoor temp (℃)	outdoor temp (℃)	Internal surface Temp (℃)	TDRi	Condensation probability	Room Use	Indoor temp (℃)	outdoor temp (℃)	Internal surface Temp (℃)	TDRi	Condensation probability
Popular	P-3	Bedroom	23.3	1.58	21.0	0.11	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	23.3	1.58	21.5	0.08	Excellent	-	-	-	-	-	-
General	G-1	Bedroom	25.5	4.91	20.0	0.27	Poor	-	-	-	-	-	-
	G-2	Daechung	23.5	4.91	18.5	0.27	Poor	Numaru	23.4	4.91	13.5	0.54	Very Poor
		-	-	-	-	-	-	Numaru	23.4	4.91	18.0	0.29	Poor
Luxurious(One)	L-O-1	Bedroom	28.1	4.91	21.7	0.28	Poor	Numaru	28.4	4.91	17.3	0.47	Very Poor
		Bedroom	28.3	4.91	23.7	0.20	Good	Numaru	28.4	4.91	14.3	0.60	Very Poor
Luxurious(Duplex)	L-D-1	Bedroom	28.9	1.58	23.4	0.20	Poor	Numaru	28.9	1.58	18.3	0.39	Very Poor
		-	-	-	-	-	-	Numaru	28.9	1.58	20.4	0.31	Very Poor
	L-D-2	Bedroom	30.6	1.58	24.9	0.20	Good	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	30.6	1.58	24.2	0.22	Poor	-	-	-	-	-	-
		Daechung	30.7	1.58	26.8	0.13	Excellent	-	-	-	-	-	-
Super Luxurious	S-L-1	Bedroom	25.3	4.91	21.4	0.19	Good	Numaru	25.2	4.91	15.7	0.47	Very Poor
		Bedroom	24.9	4.91	17.1	0.39	Very Poor	Numaru	25.2	4.91	15.4	0.48	Very Poor
VIP	V-1	Bedroom	24.9	4.91	16.9	0.40	Very Poor	Numaru	24.6	4.91	10.2	0.73	Very Poor
		Bedroom	25.0	4.91	20.1	0.24	Poor	Numaru	24.6	4.91	10.7	0.71	Very Poor

1) Numaru(누마루)
2) Daechung(대청, 거실(living room))

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

Table 6. Estimation of condensation probability by TDRi (Exterior wall & Interior wall & Ceiling)

Plan Type	Housing Division	No exposure of wooden members						Exposure of wooden members					
		Room Use	Indoor temp (℃)	outdoor temp (℃)	Internal surface Temp (℃)	TDRi	Condensation probability	Room Use	Indoor temp (℃)	outdoor temp (℃)	Internal surface Temp (℃)	TDRi	Condensation probability
Popular	P-1	Bedroom	25.7	4.91	18.2	0.36	Very Poor	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	25.7	4.91	18.7	0.34	Very Poor	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	25.7	4.91	20.6	0.25	Poor	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	25.7	4.91	20.1	0.27	Poor	-	-	-	-	-	-
	P-2	Bedroom	24.0	1.58	20.6	0.15	Good	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	24.0	1.58	20.8	0.14	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	24.0	1.58	22.7	0.06	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	24.0	1.58	22.6	0.06	Excellent	-	-	-	-	-	-
	P-3	Bedroom	23.3	1.58	21.5	0.08	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	23.3	1.58	22.5	0.04	Excellent	-	-	-	-	-	-
General	G-1	Bedroom	25.5	4.91	21.3	0.20	Poor	Daechung	24.4	4.91	19.9	0.23	Poor
		Bedroom	25.5	4.91	21.8	0.18	Good	Daechung	24.4	4.91	19.3	0.26	Poor
		-	-	-	-	-	-	Daechung	24.4	4.91	18.7	0.29	Poor
		-	-	-	-	-	-	Daechung	24.4	4.91	19.4	0.26	Poor
	G-2	Bedroom	23.4	4.91	20.0	0.18	Good	Daechung	23.5	4.91	18.8	0.25	Poor
		Bedroom	23.4	4.91	19.4	0.22	Poor	Daechung	23.5	4.91	18.2	0.29	Poor
		-	-	-	-	-	-	Daechung	23.5	4.91	20.2	0.18	Good
		-	-	-	-	-	-	Numaru	23.4	4.91	17.6	0.31	Very Poor
		-	-	-	-	-	-	Numaru	23.4	4.91	18.3	0.28	Poor
Luxurious(One)	L-O-1	Bedroom	28.1	4.91	23.2	0.21	Poor	Numaru	28.4	4.91	23.8	0.20	Good
		Bedroom	28.1	4.91	23.5	0.20	Good	Numaru	28.4	4.91	18.3	0.43	Very Poor
		Bedroom	28.3	4.91	24.8	0.15	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	28.3	4.91	25.4	0.12	Excellent	-	-	-	-	-	-
Luxurious(Duplex)	L-D-1	Bedroom	28.9	1.58	26.1	0.10	Excellent	Numaru	28.9	1.58	22.8	0.22	Poor
		Bedroom	28.9	1.58	25.1	0.14	Excellent	Numaru	28.9	1.58	25.0	0.14	Excellent
		Bedroom	23.0	1.58	20.6	0.11	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	23.0	1.58	21.8	0.06	Excellent	-	-	-	-	-	-
	L-D-2	Bedroom	30.9	1.58	24.8	0.21	Poor	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	30.9	1.58	25.9	0.17	Good	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	30.6	1.58	26.6	0.14	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	30.6	1.58	26.4	0.14	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Daechung	30.7	1.58	30.0	0.02	Excellent	-	-	-	-	-	-
		Daechung	30.7	1.58	25.9	0.16	Good	-	-	-	-	-	-
Super Luxurious	S-L-1	Bedroom	25.3	4.91	22.6	0.13	Excellent	Daechung	25.1	4.91	16.7	0.42	Very Poor
		Bedroom	25.3	4.91	22.9	0.12	Excellent	Daechung	25.1	4.91	18.4	0.33	Very Poor
		Bedroom	25.4	4.91	22.9	0.12	Excellent	Numaru	25.2	4.91	21.7	0.17	Good
		Bedroom	25.4	4.91	23.8	0.08	Excellent	Numaru	25.2	4.91	15.0	0.50	Very Poor
VIP	V-1	Bedroom	24.9	4.91	18.4	0.33	Very Poor	Daechung	25.1	4.91	14.9	0.51	Very Poor
		Bedroom	24.9	4.91	16.9	0.40	Very Poor	Daechung	25.1	4.91	16.7	0.42	Very Poor
		Bedroom	25.0	4.91	21.2	0.19	Good	Numaru	24.6	4.91	17.8	0.35	Very Poor
		Bedroom	25.0	4.91	22.1	0.14	Excellent	Numaru	24.6	4.91	16.8	0.40	Very Poor
		Bedroom	24.5	4.91	19.6	0.25	Poor	-	-	-	-	-	-
		Bedroom	24.5	4.91	20.3	0.21	Poor	-	-	-	-	-	-

도출된 내표면 온도차 비율 수치가 갖는 열적성능 의미를 분석하기 위해 KS F 2829 해설 표4(TDRi에 의한 벽체의 내표면 결로 판정 지료의 예)의 열관류율 해당 사례 수준과 비교하여 수치가 갖는 의미를 분석해 보았다.

내표면 온도차 비율 수치는 열적으로 '우수' 판정이 가능한 수준부터 '매우 불량'판정이 가능한 범위까지 큰 편차를 보이며 나타났다.

가장 우수한 수준으로 판별된 목구조 비노출 천장 모서리의 TDRi 0.08 수준은 단열 시공된 인방 구조로 외벽 모서리 U값이 0.6W/㎡k 이하에 해당하는 수준으로 분석된다.

표면벽은 우수한 수준이므로 부재 자체는 충분한 단열성을 발휘하는 것을 알 수 있다. 그러나, TDRi 0.4 수준은 2D 모서리 U값이 1.5W/㎡k 이상, 3D 모서리 U값이 1.0W/㎡k 이상인 수준을 의미하며 상대습도가 낮아져도 결로 발생 확률은 높아지는 수준으로 나타났다.

목구조가 노출된 천장 부위의 경우 TDRi 최소값 수준은 0.29로 단열시공이 안된 콘크리트 벽 및 바닥 조건과 같으며 외벽 모서리 U값이 0.9~1.5W/㎡k 이상 수준으로 실내외 온도차가 30℃기준(실내 20℃, 실외-10℃)시 상대습도 70% 이하에서는 결로가 발생하지 않으나 80% 이상에서는 결로 발생 확률이 높은

수준으로 분석되었다.

설계 목표로 하였던 외벽, 천장 부위의 열관류율 수준을 고려할 때 목구조를 노출한 경우 설계 목표와 편차가 커질 수 있으므로 목구조 노출은 한옥 설계에 있어 반드시 필요한 사항을 아니라고 판단된다.

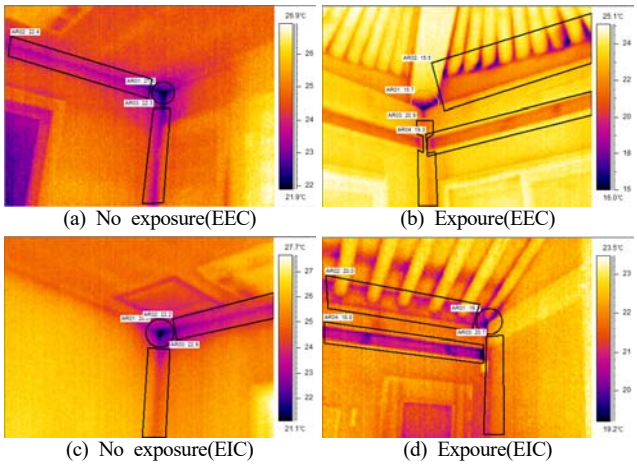
Table 7. Appropriate examples of the probability of Condensation According to TDRi. KS F 2829[10]

Thermal Performance	TDR	Appropriate example (KS F 2829)
Excellent	<0.15	wall : U<1.2W/m²k corner : U<0.6W/m²k Thermal insulated Lintel
Good	0.15~0.2	wall : U≥1.2W/m²k corner : U≥0.6W/m²k
Poor	0.2~0.3	corner : 0.9~1.5W/m²k Non-insulated concrete wall and floor
Very Poor	>0.3	2D corner : U≥1.5W/m²k 3D corner : U≥1.0W/m²k (floor, wall)

그러나, 목구조를 비노출 여부에 따라 우수(〈0.15), 양호(0.15~0.2)의 판정이 가능하므로 건축 계획 단계에서 목구조 노출 여부를 충분히 고려한 설계를 반영한다면 결로 발생 확률은 낮출 수 있을 것으로 판단된다.

목구조를 노출하는 누마루는 한옥 건축의 구조미를 시각적으로 보여주기 위한 실내공간이라는 관점에서의 설계적 접근이 이루어지고 있다. 이는 열환경 측면 즉 에너지 절약적인 측면을 고려하여실내 공간으로서의 누마루를 계획하는 경우 목재 천장을 노출하지 않는 방향의 계획적 접근이 필요할 것으로 판단된다.

다만, 목구조의 구조미를 보여주는 누마루와 같은 공간을 계획하고자 한다면, 실내가 아니 외부 공간으로서 조성하여 실내에서의 열손실을 최소화는 방향이 필요할 것으로 보인다.



(a) No exposure(EEC) (b) Expoure(EEC)

(c) No exposure(EIC) (d) Expoure(EIC)

Fig 5. IR images analysis examples according to the Exposure or not of Wooden members

외벽&외벽&천장이 만나는 부위와 외벽&내벽&천장이 만나는 부위에 대한 분석 결과, 다소 예상되는 결과로 내벽이 관여하는 부위가 상대적으로 결로 발생 확률이 줄어드는 것으로 나타났다. 외벽과 외벽이 만나는 부위든지 외벽과 내벽이 만나는 부위든지 한옥 건축의 경우 모서리 부위에는 목재 기둥이 위치하게 되므로 결로 발생 확률을 줄여주기 위해서는 외벽과 외벽 및 기둥이 만나는 부위 중심으로 열교 발생 부위를 줄여줄 수 있는 방향의 단열설계 방법을 건축계획 단계에서 중점적으로 검토할 필요가 있다.

3.2. 공간 용도에 따른 평가량 분석

주거형으로 건축되는 한옥에 있어 가장 일반적으로 배치되는 공간은 도면 표현상 침실, 대청, 누마루, 주방, 화장실과 같은 공간이다. 본 연구에서는 바닥난방이 이루어지고 있는 공간간의 차이를 비교하기 위해 침실, 대청, 누마루를 대상으로 외벽&외벽&바닥이 만나는 부위 및 외벽&내벽&바닥이 만나는 모서리 부위를 중심으로 분석하였다.

공간 용도에 따른 분석은 목구조부 노출 여부보다 난방에 의한 영향을 받기 때문에 바닥 중심으로 진행하였다. 총 82개 부위에 대한 분석을 실시하였으며 각 부위에 대한 평가 결과는 본 논문의 지면 한계상 생략하였다.

본 실증한옥의 경우 별도의 주방 공간은 평면 계획단계에서 이미 고려대상이 아니므로 분석에 반영하지 않았다. 공간 중 대청 공간은 실증한옥 출입구가 배치된 공간으로 현대 건축에서 거실과 같은 역할을 하는 공간으로 구성되어 있다(Table 1.).

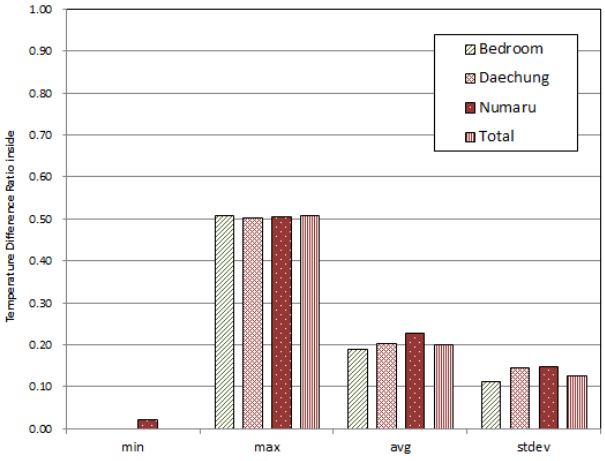


Fig 6. Comparison analysis on TDRi according to the space usage

분석 결과, 최소·최대·평균값에 있어서 침실과 대청, 누마루간에 공간에 따른 차이는 크게 발생하지 않는 것으로 나타났다. 바닥 복사 난방 방식의 영향으로 천장에 비해서는 전체 평균치가 약 0.2수준으로 나타났다. 특히, 최소치는 매우 낮게 나타나고 있어 천장과는 다른 결과를 나타냈다(Fig 6.).

본 실증한옥 마을의 바닥 구조는 밀폐형 전열선 삽입 온수관을 배관하여 바닥 난방을 하였다. 열화상 분석 결과, 바닥 전체에 열이 고르게 분포되는 것으로 나타났으며, 2D, 3D 모서리 부위의 내표면 온도가 실내 온도와 비슷한 수준을 보임으로써 결로 발생 확률이 천장 부위에 비해서 낮아지는 것으로 나타났다(Fig 7.). 온수관 열이 바닥판 전체의 온도를 올려 수직부재(벽, 기둥)와 수

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

평부재(바닥) 접합부의 온도도 상승시키는 것으로 보인다. 난방 구조 선택시 열선과 같은 발열체를 이용한 난방을 하는 경우와 달리 바닥 전체를 난방하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

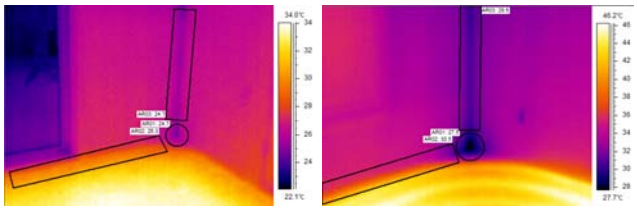


Fig 7. IR images analysis examples of floor

한옥마다의 시공성에 따라 일부 차이가 있을수는 있으나 평균치는 결로 발생 확률 평가시 '양호'에 해당하는 것으로 분석되었다. 위치에 따라서는 누마루 위치의 내표면 온도차 비율이 상대적으로 높게 나타났다.

결로 발생 확률 평가 지표간 비교 분석 결과, 외기 출입에 직접 면하는 조건인 대청의 '불량' '매우불량' 비율이 증가하고 있으며 누마루가 출입구의 역할을 하는 경우에는 '매우불량' 비율이 증가하는 것으로 나타났다.

외기에 직접 면하는 출입문이 설치된 공간의 경우 열손실 측면에서 완충 역할을 해 주는 공간이 없는 평면 계획으로 인해 타 공간에 비해 상대적인 열손실이 발생하고 있으며 육안으로 결로가 확인되지는 않더라도 출입문 주변에서 실내에서의 온열감에 직접적인 영향을 주는 열교 발생 부위가 있음을 확인할 수 있다.

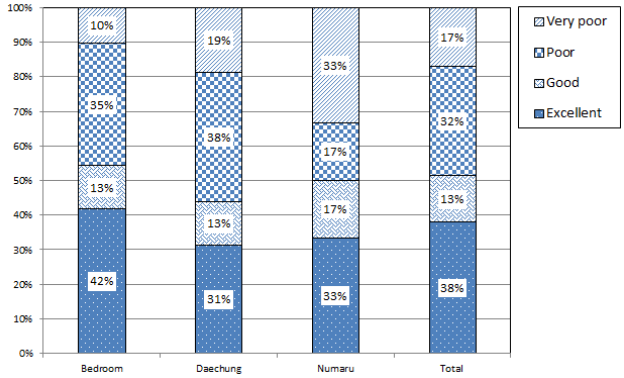


Fig 8. Comparison analysis on the Estimation of condensation probability according to the space usage

3.3. 고정 벽장 공간의 배치 위치에 따른 영향 분석

전통 한옥 건축에서 흔히 볼 수 있는 수납공간으로서의 고정 벽장을 현대 신한옥에 도입하는 경우 벽장 공간 내부에 열환경에 대해 분석을 하였다. 평면 형식에 따라 벽장의 위치에 차이는 있으나 고정 벽장이 외벽에 직접 면하여 배치된 경우와 외벽에 직접 면하지 않는 위치에 배치된 경우를 비교하였다(Fig 9.).

물론 외벽에 직접 면하지 않는 경우에 대한 내표면 온도차 비율 평가는 KS규격에 따른 평가방법으로 활용되지 않으나, 벽장의 위치가 결로 발생 확률 평가에 미치는 영향을 분석하기 위함이다. 분석은 총 26개 부위(지면상 부위별 평가 결과는 생략)에 대한 평가를 실시하였다.

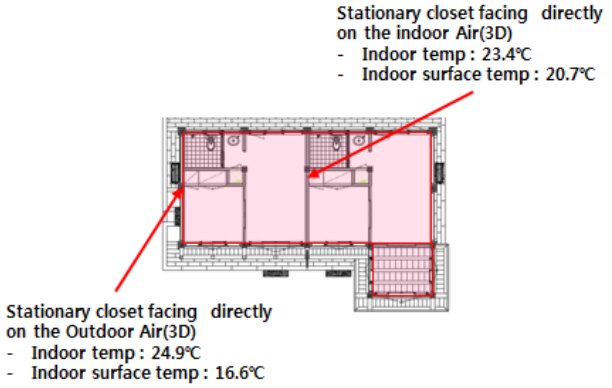
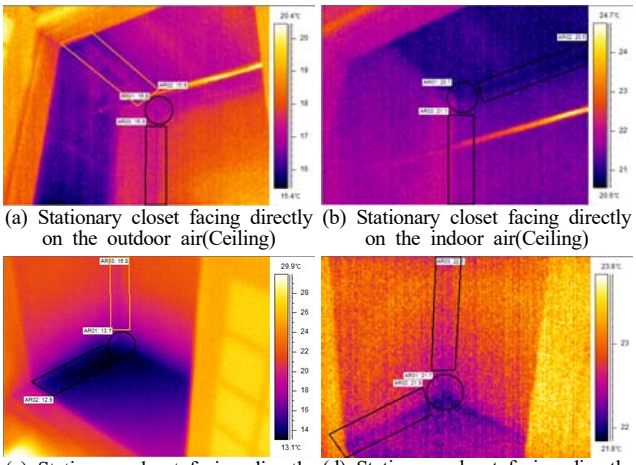


Fig 9. Layout of the stationary closet(case of general type plan)



(a) Stationary closet facing directly on the outdoor air(Ceiling) (b) Stationary closet facing directly on the indoor air(Ceiling)

(c) Stationary closet facing directly on the outdoor air(Floor) (d) Stationary closet facing directly on the indoor air(Floor)

Fig 10. IR images analysis examples according to layout of the stationary closet

분석 결과, 고정 벽장이 외벽에 면하도록 평면 배치된 경우 외벽에 직접 면하지 않는 경우에 비해 상대적으로 매우 불리한 것으로 나타났다. 일반형 한옥을 대상으로 분석한 Fig 9.의 경우, 외기에 직접 면하는 벽장은 실내온도가 24.9℃ 대비 내표면 온도는 16.6℃ 수준을 보이고 있으며, 외기에 직접 면하지 않는 벽장은 실내온도 23.4℃ 대비 20.7℃의 내표면 온도를 보이는 것으로 나타났다.

고정 벽장의 경우 상시적으로 닫힌 상태로 유지하게 되므로 실내 공간과는 달리 환기측면에서 불리하게 되어 결로 발생 확률이 증가하는 조건을 형성하는 것으로 나타났다. 특히, 벽장 바닥 부위를 난방하지 않는 경우에는 이와 같은 조건이 더욱 가속화 될 수 있음을 보여주고 있다. 특히, 수납용으로 활용하므로 침구류나 옷가지를 넣어두는 경우 결로 현상이 발생하는 경우 곰팡이 발생을 통한 피해 발생가능성도 커진다고 볼 수 있다.

따라서, 고정 벽장을 설계에 반영하는 경우에는 공간의 위치와 바닥 난방 범위에 대한 충분한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 수납공간은 현장설치형 가구를 활용하여 가구 주변의 공기유동을 통해 2차 피해가 생기지 않는 방법의 난방 및 공간 배치가 필요할 것으로 보인다.

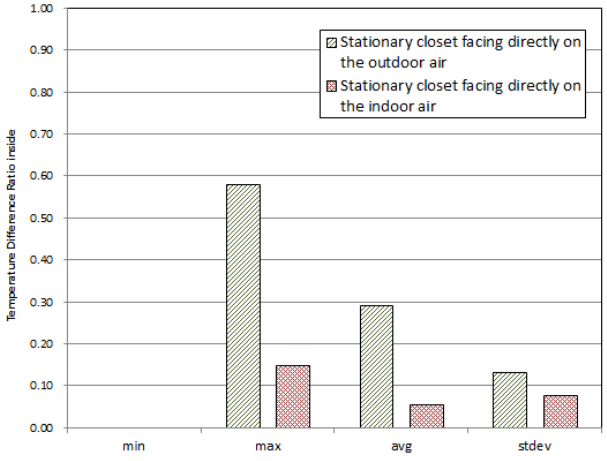


Fig 11. Comparison analysis on TDRi according to the layout of the stationary closet

3.4. 물 사용 개소의 분산배치에 따른 영향 분석

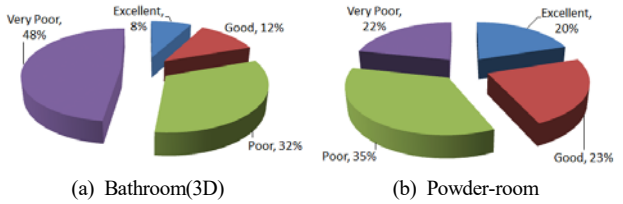
일반적인 주택형 한옥에서 물을 사용하는 공간은 욕실(화장실 겸)과 주방 공간을 들 수 있는데, 본 평가 대상인 실증한옥 시범마을의 경우 화재 방지 차원에서 주방공간 계획을 반영하지 않고 건축계획을 하였다. 다만, 주요 용도가 숙박형 체험한옥으로서 이용자들에게 제공하므로 숙박시설에서 흔히 볼 수 있는 세면대를 화장실 공간과 별도로 분리 배치하여 파우더룸이라는 형식으로 평면계획이 반영되었다.

파워더룸은 욕실 바로 앞에 전실 형태로 설치하고 가벼운 세정·세안과 메이킹이 가능하게 구성되어 있다. 다만, 세면대를 설치하여야 하므로 사용한 물의 배수로가 기구 연결 배수관과 트랩을 설치하여 바닥을 통해 배수되는 형태로 시공되었다. 따라서 본 절에서는 바닥 배수관 설치에 따라 바닥 난방에 미치는 영향을 분석하고 해당 부위를 중심으로 결로 발생 확률에 대한 분석을 실시하였다.

우선 바닥난방을 할 수 없는 욕실과 파우더룸의 외벽 모서리를 중심으로 내표면 온도차 비율을 분석하였다. 총 102개의 욕실 모서리와 60개소의 파우더룸의 외벽 모서리를 비교하였다(Fig 12.~14).

분석 결과, 내표면 온도차 비율간 평균치는 파우더룸의 수치가 욕실에 비해서는 상대적으로 낮게 나타났으나, 최저온도점 분석을 통한 최대치의 경우 욕실과 파우더룸간의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다(Fig 12.). 파우더룸 세면대 하부 바닥 부위에서 배수관으로 인한 난방 범위 축소로 인해 벽체 하부 모서리 부위는 매우 낮은 내표면 온도 분포를 보이고 있으며 이는 바닥 난방을 하지 않는 욕실의 모서리 부위와 동일한 수준으로 분석되었다.

이러한 점을 고려할 때 물을 사용하는 파우더룸과 같은 공간을 계획하는 경우 바닥 난방 범위를 고려하여 해당 공간에 대한 배치가 필요할 것으로 보이며, 가능하다면 물을 사용하는 공간과 물을 사용하지 않는 공간을 분리하여 양질의 온열환경을 유지할 수 있는 건축계획이 필요할 것으로 보인다.



(a) Bathroom(3D) (b) Powder-room

Fig 12. Comparison analysis on th Estimation of condensation probability

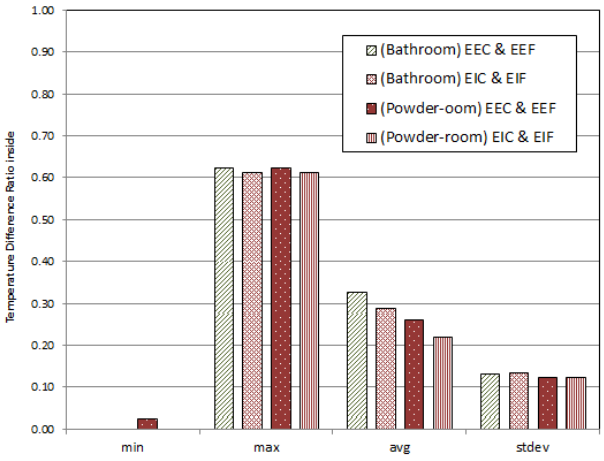


Fig 13. Comparison analysis on TDRi between bathroom and powder-room

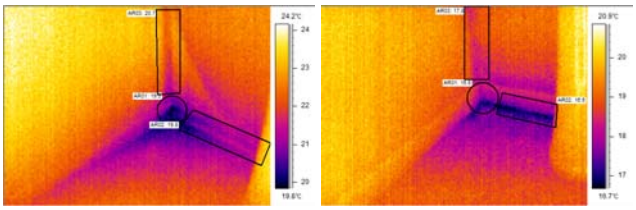


Fig 14. IR images analysis examples of Powder-room

3.5. 외기에 직접 면하는 출입문 계획에 따른 영향 분석

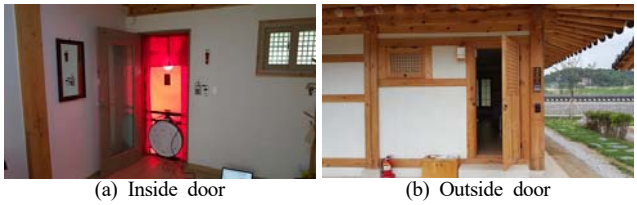
본 절에서는 외기에 직접 면하는 출입구 부위를 통한 열환경 특성을 분석하였다. 6유형의 평면 중 유일하게 여닫이 출입문 형태를 취하고 있는 일반형을 대상으로 분석하였다. 해당 출입문의 유형은 이중문 형태를 취하고 있는데 외부에는 목재 여닫이문을 외부 방향으로 여는 형태를 취하고 있고, 내부에는 유리창이 달린 목재 여닫이문을 실내측으로 여는 형태를 취하고 있다(Fig 15.).

분석 결과, 이중문 구조를 취하고 있음에도 불구하고 열 손실이 많이 발생하는 것으로 나타났다. 본 한옥은 숙박체험형으로 계획 시공되었으며 비교적 넓지 않은 면적을 취하므로 공간적으로 열적 측면에서 완충공간으로서의 현관과 같은 공간을 도입하지 못한바 있다. 이러한 결과는 실내 공간과 외부 공간을 구분하는 주된 출입구가 문이 개방되는 순간 열손실의 주된 통로 역할을 하는 것으로 실내 공간의 난방을 통해 실내온도를 상승시킨다

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

하더라도 틈새부의 표면 온도는 매우 낮아지므로 온열감 측면에서 매우 불리해진다고 할 수 있으며 지속적인 열손실이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

따라서, 기밀성과 단열성이 확보된 출입문의 설치가 기본적인 부재 요소의 필요조건이라 하더라도 빈번하게 개방이 발생할 수 있는 출입문 계획에 대해서는 열손실을 최소화 할 수 있는 방향으로의 건축계획 및 공간 배치가 필요할 것으로 판단된다.



(a) Inside door (b) Outside door

Fig 15. Double doors of general type plan

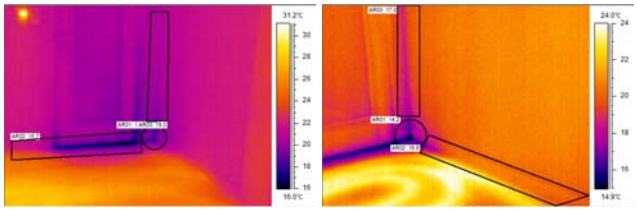


Fig 16. IR images analysis examples of house door

4. 결론

본 연구에서는 강릉 신한옥 시범마을 실증단지의 한옥을 대상으로 건축물의 단열성능을 현장 조건에서 공간적으로 평가하기 위해 KS F 2829(적외선 촬영에 의한 건축물의 단열성능 평가방법)를 적용하여 평가하였다. 특히, 한옥 건축물 외벽 부위와 다양한 공간에 대한 결로 발생 확률 평가를 통해 신한옥의 단열성능 수준을 평가하고, 건축 설계 및 시공과정에서 고려해야 할 사항을 도출하여 단열성능 향상을 위해 반영할 수 있는 요소에 대해 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 건축물의 에너지 절약적인 측면을 고려한 설계를 하기 위해서는 목구조부를 노출하는 공간과 비노출 공간의 분리 설계가 필요하다고 판단된다.

목구조가 노출된 천장부 실내 모서리 부위의 결로 발생 확률(심함 및 매우 심함 100%)은 목구조를 노출하지 않은 경우(심함 매우 심함 57%)에 비해 상대적으로 취약한 것으로 분석되었다. 또한, 설계 목표로 하였던 외벽, 천장 부위의 열관류율 수준을 고려할 때 목구조를 노출한 경우 설계 목표와 편차가 커질 수 있으므로 목구조 노출은 한옥 설계에 있어 반드시 필요한 사항을 아니라고 판단된다.

목구조의 구조미를 보여주기 위한 공간은 실내가 아닌 외부 공간으로 조성함으로써 동절기 실내에서의 열손실을 최소화하는 방향으로서의 접근이 필요하다고 판단된다. 또한, 공간의 용도 측면에서 목구조 노출 의도가 반영될 수 있는 누마루나 대청과 같은 공간에 대해서는 실내 공간으로 활용할 것인지 실외 공간으로 활용할 것인지에 대해 내외부 공간에 대한 용도를 충분히 고민하여 목구조의 노출 여부를 결정할 필요가 있다고 판단된다.

2) 바닥 모서리 부위의 열교 발생 확률을 낮추기 위해서는 열선 패널 등을 이용한 난방보다 바닥 전체를 복사체로 만들 수 있는 난방방식의 채택이 바람직하다.

밀폐형 전열선 삽입 온수관을 배관한 난방 구조는 바닥 전체에 고르게 열을 전달시키고 있어 내표면 온도차 비율 평균이 0.2 수준으로 결로 발생 확률을 낮추는데 크게 도움이 되는 것을 확인하였다.

3) 외기에 직접 면하는 출입문을 설치하는 공간에 대한 열손실을 최소화 할 수 있는 현관 개념의 공간 도입이 필요하다.

좌식 위주의 우리 생활양식을 고려할 때 바닥 복사 난방으로 인해 공간별로 결로 발생 확률에 있어 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 출입문이 있는 공간 즉 대청(현재 주택의 거실 개념)의 경우 출입문 부위의 기밀성 저하가 단열성 저하로 연결되는 것을 확인할 수 있다.

고단열 기밀성을 갖는 출입문 시스템도 필요하지만, 개방하는 문 자체가 갖는 열적 불리함을 극복할 수 있는 실의 공간 계획이 필요할 것으로 판단된다.

4) 수납공간으로서의 고정 벽장 계획시 벽장의 위치와 난방 범위를 고려한 설계가 필요하다.

바닥으로부터 난방열을 취득하지 못하는 외기에 직접 면하는 벽장의 경우 외기에 직접 면하지 않는 벽장에 비해 결로 발생 확률이 높게 나타났다. 상시적으로 닫힌 상태로 유지되며 환기에 불리한 조건이므로 난방을 통해 내부 온도를 올릴 필요가 있으며, 수납 공간은 가변형 가구를 설치하여 가구 주변의 공기 유동을 통해 결로 발생 확률을 낮출 필요가 있다.

5) 욕실이나 주방과 구분되어 물을 사용하는 별도의 공간(파우더룸)을 계획하는 경우 바닥 난방 범위를 고려한 공간 배치가 필요할 것으로 보이며, 물을 사용하는 공간과 물을 사용하지 않는 공간의 분리계획이 필요할 것으로 판단된다.

바닥 복사 난방 방식을 적용하는 우리 건축 난방 방식과 에너지절약설계기준 등을 고려할 때 바닥 난방 범위의 축소는 실내 온열환경에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문이다. 다만, 난방에 영향을 주지 않는 범위의 배수시스템을 도입하는 경우 물 사용 공간의 분리계획이 반드시 필요하지 않을 수 있으나, 전체 급배수 시스템에 대한 동시 고려가 필요하다고 할 것이다.

본 연구는 실증한옥을 대상으로 초기 건축 계획 및 실시 설계에 따라 달라질 수 있는 단열성능에 영향을 미칠 수 있는 건축계획적 요소를 분석한 것이다.

다만, 한옥 건축물의 경우에도 초기 설계 단계에서 단열성능을 미리 예측하고 문제점을 찾는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 따라서, 초기 건축 설계 과정에서 열적 성능을 향상시킬 수 있는 방안으로서 한옥의 주요 부위에 대한 3차원 전열해석을 통해 향후 한옥의 실질적인 에너지 성능을 향상시킬 수 있는 연구를 지속적으로 진행할 계획이다.

Acknowledgement

This work was supported by a grant(18AUDP－B128638－02) from Urban Architectural Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport Affairs of Korean Government.

Reference

[1] 국토교통부 국토교통과학기술진흥원의「도시건축연구사업」중「한옥기술개발 : 10m급 대공간 한옥 설계·시공 기술개발」2017.4 // Ministry of Land, Infrastructure and Transport, The Technical Development of Hanok from Urban Architecture Research Program, 2017.04

[2] 이주엽, 송민정, 이태강, 김선우, 천득염, 내표면 온도차 비율(TDRi) 분석을 통한 현대 신한옥 외벽 모서리 부위 단열성능 평가, 한국생태환경건축학회지, 제16권 제3호, 2016, pp103~112 // Lee, Ju-Yeob, Song, Min-Jeong, Lee, Tai-Gang, Kim, Sun-Woo, Cheon, Deuk-Youm, Thermal Peformance Evaluation at corners of the External Wall of Modern New Han-oks using Temperature Difference inside, Vol.16, No.3, 2016, pp.103~112

[3] 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 Monitering 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

[4] 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

[5] 한병민 외 1인, "공동주택 결로 발생 확률 예측에 관한 분석", 한국과학예술포럼, 제19권, 2005.3 // Han Byung-Min other 1, Expectation on Occurrence Probability of Condensation in Apartment Buildings, Korea Science & Art Forum, Vol.19, 2005.3

[6] 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

[7] 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원, 한옥기술개발연구단, 신한옥 시범마을 실증구축보고서, 2016.10 // Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, Development of Modernized technology, The Report on constructing demonstration of Modernized Hanok Model Village, 2016.10

[8] 강릉 오죽한옥마을 홈페이지(사진) // http://www.ojuk.or.kr Village Tour photos

[9] 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

[10] 이주엽 외 4인, "현대 신한옥 주거환경 여건에 따른 거주성능 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

ⓒCopyright Korea Institute of Ecological Architecture and Environment