



## 에너지 저감을 위한 유지관리형 리모델링의 외벽 단열 성능기준 제안

*Suggestion of Exterior Walls's Insulation Performance Criteria in Maintenance Remodeling for Energy Reduction*

김동준\* · 김태룡\*\* · 김기석\*\*\* · 오세규\*\*\*\*

Dong-Jun Kim\* · Tae-Ryong Kim\*\* · Gi-Seok Kim\*\*\* · Se-Gyu Oh\*\*\*\*

\* Main author, Graduate Student, Dept. of Urban Design and Planning, Hongik Univ., South Korea (imissyou1988@nate.com)

\*\* Corresponding author, Representative, Research Department of Building Energy, SOUL TECTURE, Seoul, South Korea (kt19360@gmail.com)

\*\*\* Coauthor, Researcher, Center for Sustainable Buildings, Yonsei Univ., South Korea (giseok\_kim@yonsei.ac.kr)

\*\*\*\* Coauthor, Professor, School of Architecture, Chonnam National Univ., South Korea (oskar@jnu.ac.kr)

## ABSTRACT

**Purpose:** We would like to propose an insulation-resistant design suitable for maintenance-type remodeling that conforms to green remodeling. **Method:** Permanent rental apartment houses in Seoul were selected for analysis. The current status of the target site was reviewed, and the representative households with similar shade environments and weak insulation were selected in consideration of Seoul's climatic characteristics. As a research method, after climate analysis of Seoul TRY (Test Reference Year) meteorological data from 2005 to 2014, condensation and thermal bridge analysis were conducted through the THERM program. To this end, the ISO 52016 (formerly ISO 13790) standard program Energy# was used to present the exterior wall insulation performance standards to secure the comfort of the apartment house, and to evaluate the energy performance before and after remodeling for each representative household. **Result:** An appropriate minimum thickness of insulation to prevent condensation and mold was suggested. When remodeling an apartment house, 45-80mm of insulation is the most economical level. It is necessary to study the domestic insulation design method suitable for the living environment.

## KEYWORD

공동주택  
리모델링  
단열 성능기준  
외벽Apartment  
Remodeling  
Insulation Performance Criteria  
Exterior Wall

## ACCEPTANCE INFO

Received Dec. 20, 2021

Final revision received Jan. 14, 2022

Accepted Jan. 17, 2022

© 2022. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

## 1.1. 연구의 배경 및 목적

기후 변화로 인하여 지구 온난화 현상이 심각해 지면서 기상이변의 피해가 증가하고 있다. 이러한 지속적인 재해 규모와 빈도가 증가함에 따라 파리기후협약을 통하여 전 세계적으로 탄소중립을 위한 정치적 합의가 이루어지고 있다.

국내의 경우 녹색 친화적인 국민의 일상생활 환경을 조성하기 위해서 저탄소·저에너지 사회를 지향하는 녹색 건축이라는 목표를 세웠다. 이를 위한 실천 방향으로 2050 장기탄소발전전략(LEDS)과 2030 국가온실가스감축목표(NDC)를 지정하고, 에너지 성능 향상을 위한 신축과 기존 건축물의 정책과제를 제시하였다.

기존 건축물의 경우, 에너지 향상을 위해 '그린 리모델링'이라는 활성화 정책을 제안하였다. 이는 쾌적하고 건강한 주거환경을 제공하기 위해 에너지 효율을 높이고, 온실가스 배출을 낮추어 기존 노후 건축물의 가치를 향상시키고자 국토교통부와 LH에서 추진하는 정책사업이다.

리모델링이란 「건축법」에서는 "건축물의 노후화를 억제하거나 기능 향상 등을 위하여 대수선하거나 일부 증축하는 행위"라 정

의하고 있다. 또한 「주택법」에서는 "건축물의 노후화 억제 또는 기능 향상 등을 위하여 대수선을 하거나 일정 범위에서 증축을 하는 행위"라 정의하고 있다[1].

이러한 리모델링 사업 추진 정책 중 거주자의 삶의 질 향상 및 에너지 저감형 공동주택으로 개선하기 위한 일환으로 서울시에서는 '2025 서울특별시 공동주택 리모델링 기본계획(안)'을 발표하였다. 이 계획은 향후 지속적으로 늘어나는 노후 공동주택의 원활한 리모델링 추진을 통하여 주거환경을 개선하고 거주민의 삶의 질 향상을 위한 관리방안을 목적으로 하고 있는데, 서울형 리모델링의 범위는 다음 Table 1.과 같다[2].

이 중 '유지관리형 리모델링'은 기존 주거의 성능 유지를 위해 노후화된 설비·시설, 바닥 및 벽체, 내장재 등 공동설비 및 세대별 내부시설의 개선에 중점을 두는 비이주형 리모델링 방식인데, 이러한 방식은 서울의 경우 영구임대주택에 적합한 리모델링 방식이다. 영구임대주택은 1993년 공급물량이 축소화된 이후 건축물의 노후화 및 슬럼화가 심각하게 진행되고 있으나, 영구히 임대 목적으로 사용되어야 하는 목적으로 재건축 추진이 어려운 실정이다. 이에 영구임대주택은 고비용·증축형 리모델링으로서 전면교체형 리모델링 방식보다는 저비용·수선형 리모델링으로서 유지관리형 리모델링을 통한 주거환경개선이 이루어져야 한다[3].

유지관리형 리모델링에 있어서 단열 개선은 난방부하의 비중이 매우 큰 건축물로서 매우 중요하다. 저비용으로 에너지 손실의 최소

Table 1. Range of Soeul's Remodeling

		General Maintenance	Customized Remodeling		Increasing Households	
		Repaired Remodeling		Entire Repaired Remodeling		
		Maintain Performance	Improvement Performance	Improvement Performance + Extension	Improvement Performance + Extension + Increasing Households	
Range of Remodeling	Maintenance/Improvement	●	●	○	○	
	Structure Change	×	●	●	●	
	Reconstruction of Space	×	●	●	●	
	Dedicated Area Variation	×	●	●	●	
	Installation of Parking Lot	×	●	●	●	
	Extension	Vertical	×	○	○	●
		Horizontal	×	×	×	●
	Increasing Households	×	×	×	●	
	Main Target	Unit/Building	Unit/Building/Clsuter	Unit/Building/Clsuter	Unit/Building/Clsuter	
Low Cost Remodeling			High Cost Remodeling			

화를 통하여 쾌적한 주거환경과 결로방지 및 곰팡이 발생 방지를 위해 올바른 단열 설계·시공법에 대한 연구가 필요하다.

건축물의 단열설계기준은 1975년 「건축법」으로 규정한 이래 1992년 ‘건축물의 설비기준 등에 관한 규칙’이 제정되면서 이관되었으며, 2008년 저탄소 녹색성장 국가정책기조에 맞춰 건축물 에너지 관리의 중요성이 부각되면서 ‘건축물의 에너지절약 설계기준’을 별도 제정하여 하위 기준으로 운영하였다. 후에 2013년 9월 ‘녹색건축물 조성 지원법’이 제정되면서 설비기준 규칙에서 조문을 삭제하고, ‘건축물의 에너지절약 설계기준’으로 기술기준을 단일화하였다. 이 과정에서 제로에너지 건축물 국가 로드맵을 제시하여 주거용 건축물(특히 공동주택)과 비주거용 건축물을 구분하여 에너지 저감률을 제시하였다. 이에 따라 2009년 10월 공동주택 대상으로 에너지 설계기준에 대해 ‘친환경 주택의 건설기준 및 성능’을 제정하여 별도로 운영하게 되었으며, 이와 같이 건축물의 단열성능과 기밀성능이 급격하게 향상되면서 실내 습도 조절이 원활하게 이루어지지 않아 결로 발생이 심각한 사회문제로 대두되었고, 2013년 12월에 ‘공동주택 결로 방지를 위한 설계기준’을 제정하기에 이르렀다[4].

이러한 단열에 대한 설계기준은 공동주택 신축 시 해당하는 기준으로, 영구임대주택과 같이 재건축이 어려운 건축물의 경우, 보다 면밀한 연구가 필요하다. 이에 본 연구는 공동주택이 많이 분포한 서울시를 대상으로 영구임대 아파트 중 한 곳을 선정하였다. 서울의 기후 조건에서 주요 외벽 우각부에 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능 기준을 제안하여, 리모델링 전·후 에너지 성능 개선에 대해 연구하고자 한다. 이를 통해 향후 유지관리형 리모델링 시 저예산으로 적정 내단열 설계·시공법을 제시하여 관련 정책 실행의 기초 연구가 되고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 공동주택 외벽 우각부에 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능 기준을 제안하고, 리모델링 전·후 에너지 저감률을 분석하고자 한다.

본 연구의 분석대상은 서울시 내 영구임대 공동주택 중 고령자 주거 비율, 건축물 노후도, 단지 규모 및 배치를 기준으로 서울시 노원

구 W아파트를 선정하였다. 대상지의 현황에 대해 살펴보고, 서울 기후 특성을 고려하여 단지 내 음영 환경이 비슷하면서, 단열에 취약한 대표 세대를 선정하였다.

연구 방법은 서울 TRY(Test Reference Year) 기상자료 2005~2014년의 기후 분석 후 THERM 프로그램을 통해 결로와 열교 분석을 실시하였다. 이에 공동주택 쾌적성을 확보하기 위한 외벽 단열 성능 기준을 제시하고, 각 대표 세대에 대한 리모델링 전·후 에너지 성능을 평가하기 위해 ISO 52016(구 ISO 13790) 기준 프로그램인 Energy#을 활용하였다.

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1. 공동주택 리모델링 관련 연구

최근 공동주택 리모델링 관련 연구는 크게 ‘사업추진 개선’, ‘주민 의식 조사’, ‘안전진단 개선’, ‘에너지 성능개선’으로 진행되고 있다. ‘사업추진 개선’에 대한 연구는 다음과 같다. Kim et al.(2020)은 국내 노후 공동주택 리모델링 추진단지 사례조사를 통한 사업추진 과정의 문제점을 분석하고, 노후 공동주택 리모델링 정책을 선제적으로 정립한 일본과 비교·분석하고 개선방안을 제시하였다[5]. Koh et al.(2019)는 리모델링 사업 초기 기획 단계에서 단지의 기본 정보를 기반으로 조합원 분담금 및 투자 수익률을 개략 산출하여 사업 추진을 위한 효율적 의사결정 지원모델 개발을 하였다[6].

‘주민 의식 조사’에 대한 연구는 다음과 같다. Kim et al.(2021)은 광주광역시 노후 공동주택 리모델링 사업 대상지를 중심으로 실제 거주민의 리모델링 사업 요구에 대한 의식조사 및 평가를 수행하고 주민 요구 사항과 우선적으로 고려해야 할 중요 인자를 도출하였다[7]. Kang and Kim(2020)은 수도권 1기 신도시의 노후화된 공동주택을 대상으로 리모델링 사업추진 단계별로 주민들의 의사결정에 영향을 미치는 요인들의 중요도를 파악하였다[8].

‘안전진단 개선’에 대한 연구는 다음과 같다. Yoon and Shin(2020)은 철근콘크리트조 건축물의 내구성과 관련된 국내외 관련 코드 및 기준 등에 대해 검토하고, 증축형 리모델링 안전진단 매뉴얼의 내구성 조사항목별 허용치 등에 의한 합리화 방안을 제시

하였다[9]. Shin et al.(2018)은 증축형 리모델링 안전진단 기준의 내구성 평가 현황을 분석하여 내구성 평가 부분의 공학적 근거 마련과 내구성 평가 최적화 방안 도출하였다[10].

‘에너지 성능개선’에 대한 연구는 다음과 같다. Oh and Kim(2020)은 1기 신도시 공동주택을 대상으로 EnergyPlus 시뮬레이션을 통해 유형별로 ECM 조합 적용에 따른 에너지 절감률과 초기 투자비용을 산출하여 ECM 라이브러리를 구축하였다[11]. Han et al.(2019)은 Radiance 프로그램을 활용하여 복층 공간에 대하여 리모델링 전·후의 실내 조도 측정을 비교 및 분석하여 자연광과 인공광의 조합 시스템을 설치할 경우와 설비형 자연채광 장치를 혼용할 경우의 조명에너지 절감량을 비교 분석하였다[12].

## 2.2 공동주택 단열 관련 연구

최근 공동주택 단열 관련 연구는 ‘단열 개선 부위 선정’, ‘대안별 단열 성능평가’, ‘결로방지 단열재 적용’ 연구로 진행되고 있다.

‘단열 개선 부위 선정’에 대한 연구는 다음과 같다. Lee and Chung(2019)은 공동주택의 단열 및 결로방지 성능 확보를 위해 해당 법규와 설계 기준을 고찰하고, 성능평가 방법을 토대로 실제 설계 사례를 평가하여 단열 개선 부위를 도출하였다[13]. Jo et al.(2017)은 국내 노후 공동주택의 외피 리모델링 프로토타입 개발을 목표로 현황에 대해 조사한 후, 단열 개선에 있어서 우선적으로 개발되어야 할 부위를 선정하였다[14].

‘대안별 단열 성능평가’에 대한 연구는 다음과 같다. Lee et al.(2020)은 제로에너지 아파트 기본설계 기술제안 프로젝트 에너지 자립과 에너지 복지를 위해 외단열 기반 대안들을 계획하여 단열 성능평가를 하였다[15]. Kim et al.(2019)은 창 고정부위 근처에서 발생하는 결로 하자 사례와 창 고정 관련 국내의 기준 및 자재현황을 조사하고 분석하여 각 대안들의 단열성능을 평가하였다[16].

‘결로방지 단열재 적용’에 대한 연구는 다음과 같다. Shin and Rhee(2021)는 공동주택에서 결로 방지 목적으로 적용되는 보조 단열재의 결로 방지 성능 및 에너지 성능을 THERM과 TRNSYS 시뮬레이션을 통해 분석하였다[17]. Kim et al.(2000)은 외피 접합부에서 열교가 많이 일어나는 부위인 옥상 부위의 단열 성능을 향상시키기 위해 Physibel을 이용하여 단면 상세 변화에 대한 온도 성능을 비교하였다[18].

## 2.3 연구의 차별성

이처럼 공동주택 리모델링, 단열과 관련된 선행연구는 다양한 방식으로 진행되어 왔다. 공동주택 리모델링 측면에서는 리모델링 추진단지를 대상으로 사업추진 개선, 주민 의식 조사, 에너지 성능개선을 중심으로 진행되어 왔다. 대부분 고효율 리모델링 방식으로 고비용 및 세대수 증가형 위주로 연구가 진행되고 있다. 공동주택 단열 측면에서는 단열 개선 부위 선정, 대안별 단열 성능평가, 결로방지 단열재 적용을 중심으로 진행되어 왔다. 대부분 외단열을 중심으로 고단열 성능을 목표로 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구는 서울시 내 노후 공동주택을 대상으로 유지관리형 리모델링 시 그린 뉴딜에 적합한 KS 무기질 단열재 중 가장 보편

적으로 사용되는 글라스울 제품을 중심으로 결로·곰팡이 하자가 없는 적정 내단열 기준을 제시하고자 한다. 이를 통해 저예산 대비 에너지 소비량을 효율적으로 저감시키기 위해 가이드라인을 제안하고자 한다.

## 3. 연구방법론

### 3.1 대지현황

본 연구의 분석대상은 서울시 내 영구임대 공동주택 중 노원구 W 아파트이다. 서울시가 1995년에 준공한 곳으로 대상지 개요는 다음 Table 2.와 같다. 8개 동에 1,372세대가 거주하고 있으며, 취약계층을 위한 공동주택으로 노인 인구 비율이 51.22%로 높은 편이다. 8개 동(101~108동)이 북서 방향으로 길게 배치되어 있으며, 단지의 동쪽에는 폐선부지인 경춘선숲길이 면하고 있다. 단지 내에는 노인정과 관리사무소, 복지관이 중앙에 위치하고 있다.

### 3.2 분석대상 선정과정

공동주택 8개동 중에서 항별 음영 간섭이 비슷한 주동을 선정하여 다음 Table 3.과 같이 분류하였다. 104동(39.6㎡), 105동(30.42㎡), 107동(24.12㎡)에서 표면 온도가 가장 취약한 외벽을 중심으로 단열 개선 수준을 결정하였다. 대상 공동주택의 외벽을 조사한 결과, 크게 2가지 유형(시멘트 벽돌, 콘크리트 옹벽)으로 구성되었으며, 베란다 부분의 창호 부분과 외기에 접하는 측벽에 서로 접하고 있다. 이러한 구성의 외벽에서 표면 온도가 낮아 잦은 곰팡이 하자를 유발하는 우각부 중심으로 취약 부위를 선정하여 전체적으로 실내 측 표면 온도가 안정적인 범위에 들어올 수 있는 수준의 단열 두께를 제안하고자 한다.

Table 2. Site Introduction [19]

Site Perspective / Site Plan			
Address	372, Wolgye-ro, Nowon-gu, Seoul		
Land Area	28,899.14㎡	Total Floor Area	59,050.63㎡
Building Area	5,130.74㎡	Floor Area Ratio	177.61%
Unit Type	24.12㎡ / 30.42㎡ / 39.6㎡		
Households	1,372	Parking Lot	347
Elderly Proportion	51.22%	Number of Floors	15F (41.30m)

Table 3. Apartment's Architectural Drawing

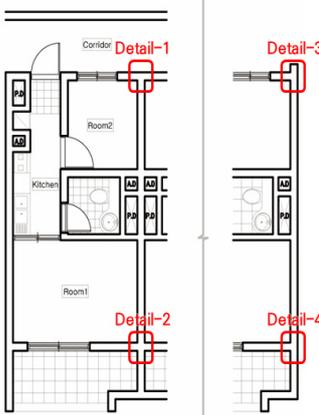
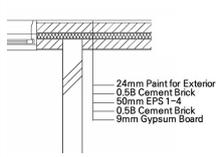
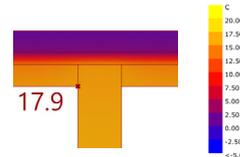
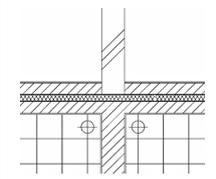
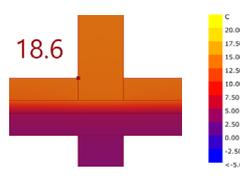
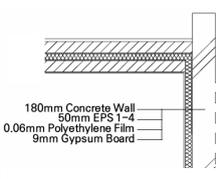
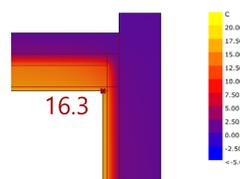
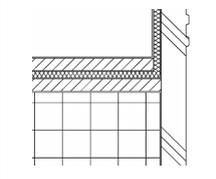
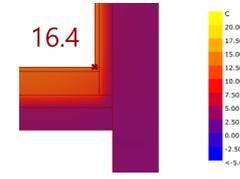
	24.12m <sup>2</sup>	30.42m <sup>2</sup>	39.6m <sup>2</sup>
Unit Plan			

Table 4. Corner Surface Temperature Simulation

No.	Composition	2d Thermal Simulation	Surface Temp.
Detail - 1			17.9°C
Detail - 2			18.6°C
Detail - 3			16.3°C
Detail - 4			16.4°C

적정 단열 두께를 제안하기 위해 주요 외벽 부위 4곳에 대한 상세도를 다음 Table 4.와 같이 작성하였다. 전열해석은 ISO 13788, 15099를 기준으로 THERM 프로그램을 통해 수행하였다. 전열해석 분석 결과, Detail-1은 17.9°C, Detail-2는 18.6°C, Detail-3은 16.3°C, Detail-4는 16.4°C로 우각부의 표면 온도가 나타났다. 이러한 결과는, Detail-3,4가 세대 간 벽을 두고 있고, Detail-1,2는 공동주택의 최측벽으로 2면이 외기를 면하고 있기 때문에 가장 낮은 온도가 나타나는 것으로 분석된다. 이 중에서 가장 표면 온도가 낮은 Detail-3을 중심으로 내단열 개선을 진행하였다.

Table 5. Defect Criterion Formula

TDR	f <sub>Rsi</sub>
$TDR = \frac{T_i - T_{srf}}{T_i - T_e}$	$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$
TDR = Temperature Difference Ratio T <sub>i</sub> = Indoor Temperature T <sub>e</sub> = Outdoor Temperature T <sub>srf</sub> = Application Surface Temperature	θ <sub>i</sub> = Indoor Temperature θ <sub>e</sub> = Outdoor Temperature θ <sub>si</sub> = Surface Temperature

### 3.3 분석의 방법

본 연구에서는 내단열 개선을 통한 일반 유지관리형 리모델링 방식으로, 적정 단열수준을 제안하고, 그에 따른 성능 향상 수준 분석을 목적으로 한다. 이때 적절한 단열 수준을 제안하기 위한 방법으로 국내·외에서 사용되고 있는 하자 판별 기준을 적용하고자 한다.

단열의 적정성 여부를 판별하는 방법은 실내 측 표면 온도를 기준으로 판단하는 기법이 일반적이며, 국내 기준으로는 국토교통부 (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea 이하 Molit Korea)에서 제안한 기준으로 ‘공동주택 결로방지를 위한 설계기준’에서 언급되는 온도차이비율(Temperature Different Ratio, 이하 TDR)이 있다. 국제 기준으로는 ISO 13788에서 언급되는 f<sub>Rsi</sub> Factor를 이용하는 방법과 DIN4108 및 ISO 13788 기반으로 건축 분야에서 가장 보편적인 고펜이 및 결로 판별에 사용되는 Helmut Glaser 교수가 제안한 방법인 Glaser 방법이 있다. TDR과 f<sub>Rsi</sub> Factor는 수식산정 기반으로 다음 Table 5.와 같고, Glaser 방법은 외피 내부의 수증기압 분포를 계산하여 포화 수증기압 분포를 포화 수증기선도를 이용하여 판단하는 방법이다.

TDR은 실내 온도를 기준으로 외기 온도 차이, 표면 온도와의 차이의 비율을 평가하는 개념이다. 권장 수준은 0.26 미만을 권장하고 있으며, 이는 창호가 아닌 벽체에 대한 권장 수치이다. 또한 실내, 외기 온도 기준은 국제 표준과 다르게 ‘실내 25°C, 실외 -15°C’로 제

안하고 있으며, 지역별로 차이가 있다.

$f_{Rsi}$  평가법은 외기 온도를 기준으로 비율을 산정하는 방식이다. 수식은 TDR 과 유사하지만, 기준이 되는 온도를 외기온도로 기준으로 두어 비율을 산정한다는 측면에서 다소 차이가 있다. 실내, 외기 온도 기준은 '실내 20°C, 실외 -5°C'로 제안하고 있으며, 이 평가법은 DIN 4108-2 기준으로 0.7 이상을 확보하도록 권장하고 있다.

Glaser 방법은 다음 Table 6.과 같이 포화 수증기선도를 이용하여 판단하는 방법이다. 실내 측 표면 온도가 상대습도 80%에 해당하는 온도에 도달하면 곰팡이 발생 가능성이 있고, 상대습도 100%에 해당하면 결로가 발생할 가능성이 있는 것으로 분석하는 방법이다. 국제 표준에서 겨울철 실내 온도를 20°C, 상대 습도 50%를 적정 기준으로 하고 있기 때문에, 실내 온도가 12.6°C를 곰팡이 억제점, 9.3°C를 결로 억제점으로 통용되고 있다.

Glaser 방법에 적용된 실내 조건은 ISO 13788을 기준으로 실내 온도 20°C, 상대습도 50%로 유지하는 방법이다. 그러나 국내 실내 온도 조건은 국제 기준과 다소 차이가 나타나는 것이 일반적이다. 대표적인 선행연구로 Kim et al.(2014)에서 실측한 결과, 국내 거주 환경에서는 실내 온도 24°C, 상대 습도 50%가 최대 빈도로 나타났다[20]. 이에 본 연구에서는 국내 거주 실내 환경을 고려하여 실내 온도 24°C, 상대 습도 50%로 설정하고자 한다. 이러한 기준으로 Glaser 방법을 적용하면, 곰팡이 억제점은 16.4°C로 실내 표면 온도를 판정하였다.

외기온도는 2005~2014년간 실측한 기상청 정보를 표준기상데이터로 변환시킨 데이터를 활용하였다. 곰팡이 하자가 발생할 수 있는 최소 기간은 Kim et al.(2020)의 선행연구를 활용하여 다음 Table 7.과 같이 분석하였다[21]. 분석 결과, 연중 기온이 가장 낮은 6일의 데이터는 울리우스 일로 계산하여 외기 온도 -5.6°C로 선정

Table 6. Condensation & Mold Temperature in Psychrometric

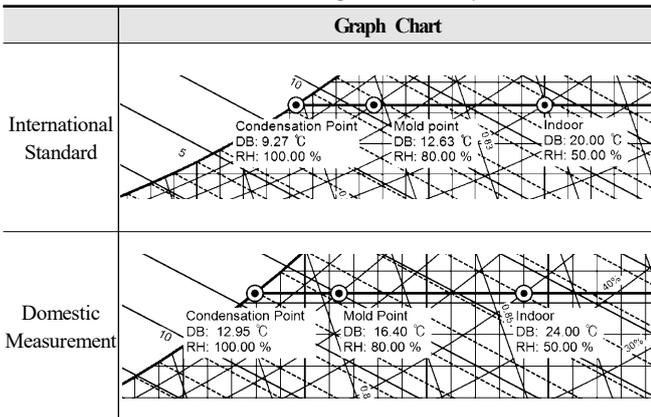
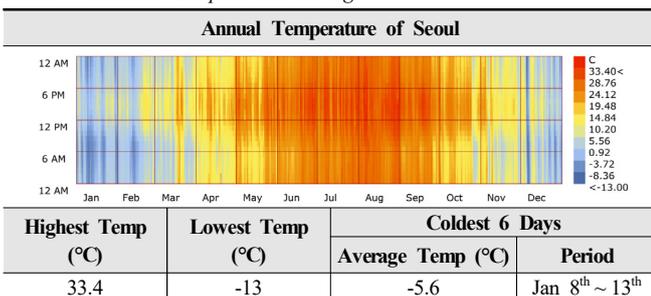


Table 7. Outdoor Temperature Setting



하였다.

실내 측의 하자를 판별하기 위한 표면 온도 분석을 수행할 때 주요 입력 값인 실내·외 온도 조건은 상기 언급된 3가지 분석 방법에 부합하는 TDR(25°C, -15°C),  $f_{Rsi}$ (20°C, -5°C), Glaser 방법(24°C, -5.6°C)으로 설정하여 진행하였다.

표면 온도 분석에 있어서 실내·외측 온도만큼 고려할 사항으로 표면전달저항값이 있다. 국내 건축법규에서는 표면전달저항값을 실내·외를 구분하여 제시하고 있으며, 실내 측 표면전달저항의 경우 외벽, 지붕, 슬라브와 같이 구성 요소의 위치에 대한 기준만 있다. 실내 측의 경우 거주자의 생활 패턴에 따라 커튼, 가구, 불박이장 등 다양한 요인이 추가되어, 일반적 벽과 다르게 실내에 다양한 환경이 될 수 있다. 이에 국내에서 제시되지 않은 실내 측의 가구 요인들은 국외 기준을 차용하여 Exposed(노출), Curtain(커튼), Lower Side(벽체 하부), Furniture(가구), Built-in Wardrobe(불박이장)으로 구분하여 다음 Table 8.과 같이 설정하였다.

단열재 개선을 위한 제품 선정은 실내측에 시공됨을 고려하여 화재에 강한 무기질 단열재 종류 중 2017년 기준 시장점유율이 9.5%로 무기질 단열재 중 가장 높은 유리섬유보온판(Glass Wool)을 정상밀도(24K)로 선정하였다[22]. 이 단열재를 5mm간격으로 200mm까지 차등을 두어 40단계의 단열 수준을 각 조건별로 시뮬레이션하였다.

Table 8. Simulation Information

Composition of Wall Copula					
Detail	Type of Material	Thickness (mm)	Thermal Conductivity		
			W/mK	Source	
	Con'c Wall	Con'c Wall	180	2.3	
		New Insulation (Glasswool 24K)	VAR (5mm to 200mm)	0.038	
		Gypsum Board	19	0.18	
	Cement Brick Wall	Cement Brick	Cement Brick	90	0.6
			Existing Insulation (EPS-1-4)	50	0.043
		New Insulation (Glasswool 24K)	Cement Brick	90	0.6
New Insulation (Glasswool 24K)			VAR (5mm to 200mm)	0.038	
	Gypsum Board	19	0.18		
Korea Standard					
Simulation Setting				Source	
Type	Temperature				
TDR (Temperature Different Ratio)	Indoor	25	Molit Korea		
	Outdoor	-15	Molit Korea		
$f_{Rsi}$ (Temperature Factor)	Indoor	20	ISO 13788		
	Outdoor	-5	ISO 13788		
Glaser Method with Measured Data	Indoor	24	ISO 13788& Prior research		
	Outdoor	-5.6	ISO 13788& Prior research		
Interior Surface Resistance Setting				Source	
Surface Transfer Resistance (W/m²K)	Exposed	0.11	Molit Korea		
	Curtain	0.25	ISO 13788		
	Lower Side	0.35	SIA 180		
	Furniture	0.50	DIN-4108-4		
	Built-in Wardrobe	1.00	DIN-4108-4		

## 4. 분석결과

### 4.1 전열해석결과

표면 온도 분석 방법 3가지와 실내 측 거주자의 생활에 따라 변경될 수 있는 요소 5가지, 그리고 5~200mm까지 40단계에 해당하는 단열 요소들을 복합하여 총 600번의 2d 전열해석을 시뮬레이션한 결과 우각부 표면 온도는 다음 Table 9.와 같다.

Table 9.의 그래프를 살펴보면 모든 분석 조건에서 불박이장(Built-in Wardrobe)이 설치 될 경우 표면 온도가 열악하게 분석되었으며, 단열재가 증가할때마다 비교적 비약적으로 표면 온도가 상승하였다. 반면에 노출되어 있는 상황(Exposed)에서의 표면 온도 상승률이 단열 두께 50mm 이상에서부터 비약적으로 감소하게 되었다. 이러한 양상은 커튼 설치(Curtain), 벽체 하부(Lower side), 가구 설치(Furniture)에서도 비슷하게 확인할 수 있었다. 특히 TDR의 경우, 50mm 미만의 단열 구성에서 단열재가 증가할때마다 표면온도의 상승률이 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 TDR의 실내·외 표면 온도 설정값의 차이가 다른 분석 방법(TDR :  $\Delta T$  40°C,  $f_{Rsi}$  :  $\Delta T$  25°C, Glaser :  $\Delta T$  29.6°C)보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

Glaser 방법을 활용한 하자의 판별법은 표면온도 분석을 통하여 바로 판별할 수 있지만, TDR과  $f_{Rsi}$ 는 별도의 수식을 거쳐 상수화하여 각 기준에 맞추어 판별해야 하기 때문에 추가적 연산이 필요하다.

이러한 연산 과정은 다음 Table 10.과 같다. 각 분석 방법을 통해 안정화되는 기준은 TDR은 0.26 이하,  $f_{Rsi}$ 은 0.7 이상, Glaser 방법은 16.4°C 이상으로 나타났으며, 이에 해당하는 부분은 색으로 표시하였다. 이러한 안정화된 부분을 고려하여, 3가지 분석 방법을 모두 충족하는 내단열 적정 최소 두께는 노출되어 있는 상황(Exposed)의 경우 10mm 이상, 커튼 설치(Curtain)의 경우 35mm이상, 벽체 하부(Lower side)의 경우 50mm 이상, 가구 설치(Furniture)의 경우 80mm 이상, 불박이장(Built-in Wardrobe)의 경우 185mm 이상으로 나타났다.

공동주택에서 거주자들이 벽면에 책상, 책장 등과 같은 가구를 배치하는 설계적 특성을 고려하면, 이러한 거주 환경을 고려해야 함은 필수적이다. 이에 각 조건 별에 부합하는 최소 단열 기준을 준수해야 한다.

TDR은 국내 기준으로 표면 결로를 예방하기 위해 제시하고 있으나, 3가지 분석 결과를 검토한 결과, Glaser 방법의 곰팡이 억제 기준의 값과 유사한 양상을 나타내고 있다는 점에서 TDR기준은 결로 억제를 넘어 곰팡이 억제 수준까지를 고려한 기준임을 확인할 수 있었다.

Table 9. Surface Temperature of Each Analysis Method

Type	TDR Factor Temperature					$f_{Rsi}$ Factor Temperature					Glaser Method Temperature (Based Measured Data)				
Surface Corner Temp Graph															
	Thickness (mm)	Exposed	Curtain	Lower Side	Furniture	Built-in Wardrobe	Exposed	Curtain	Lower Side	Furniture	Built-in Wardrobe	Exposed	Curtain	Lower Side	Furniture
5	13.3	7.5	4.8	2	-3.3	12.7	9	7.4	5.6	2.3	15.4	11	9.1	6.9	3.1
10	15.4	9.9	7.3	4.4	-1.2	14	10.6	8.9	7.1	3.6	16.9	12.8	10.9	8.7	4.6
15	16.6	11.6	9.1	6.2	0.5	14.8	11.6	10.1	8.3	4.7	17.8	14.1	12.2	10.1	5.8
20	17.5	12.8	10.4	7.6	1.8	15.3	12.4	10.9	9.1	5.5	18.4	15	13.2	11.1	6.8
25	18.3	13.8	11.5	8.8	2.9	15.8	13	11.6	9.9	6.2	19	15.7	14	12	7.7
30	18.7	14.6	12.4	9.7	3.9	16.1	13.5	12.1	10.4	6.8	19.3	16.3	14.6	12.7	8.4
35	19.1	15.2	13.1	10.5	4.8	16.3	13.9	12.6	11	7.4	19.7	16.8	15.2	13.3	9.1
40	19.5	15.8	13.8	11.3	5.6	16.6	14.2	13	11.4	7.9	19.9	17.2	15.7	13.8	9.7
45	19.9	16.3	14.3	11.9	6.3	16.8	14.5	13.3	11.8	8.3	20.2	17.5	16.1	14.3	10.2
50	20.1	16.7	14.8	12.4	7	16.9	14.8	13.6	12.1	8.7	20.4	17.8	16.4	14.7	10.7
55	20.3	17	15.2	12.9	7.5	17.1	15	13.9	12.4	9.1	20.5	18.1	16.8	15.1	11.1
60	20.6	17.4	15.6	13.4	8.1	17.2	15.3	14.1	12.7	9.4	20.7	18.4	17.1	15.4	11.5
65	20.7	17.7	15.9	13.8	8.6	17.3	15.4	14.3	13	9.7	20.8	18.6	17.3	15.7	11.8
70	20.9	17.9	16.3	14.1	9	17.4	15.6	14.5	13.2	10	20.9	18.8	17.5	16	12.2
75	21	18.2	16.5	14.5	9.5	17.5	15.7	14.7	13.4	10.3	21	18.9	17.7	16.2	12.5
⋮															
180	22.6	20.8	19.7	18.3	14.6	18.5	17.4	16.7	15.8	13.5	22.2	20.9	20.1	19	16.3
185	22.6	20.8	19.8	18.4	14.8	18.5	17.4	16.7	15.9	13.6	22.2	20.9	20.1	19.1	16.4
190	22.6	20.9	19.8	18.5	14.9	18.5	17.4	16.8	15.9	13.7	22.2	20.9	20.2	19.2	16.5
195	22.7	20.9	19.9	18.6	15	18.5	17.5	16.8	16	13.8	22.3	21	20.2	19.2	16.6
200	22.7	21	20	18.7	15.2	18.6	17.5	16.9	16	13.8	22.3	21	20.3	19.3	16.7

Table 10. Thermal Analysis Result

Type	TDR Factor					f <sub>rsi</sub> Factor					Glaser Method (Based Measured Data)				
Minimum Standard	Below 0.26					Above 0.7					Above 16.4°C				
Surface Temp Example															
Thickness (mm)	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe
5	0.2925	0.4375	0.505	0.575	0.7075	0.708	0.56	0.496	0.424	0.292	15.4	11	9.1	6.9	3.1
10	0.24	0.3775	0.4425	0.515	0.655	0.76	0.624	0.556	0.484	0.344	16.9	12.8	10.9	8.7	4.6
15	0.21	0.335	0.3975	0.47	0.6125	0.792	0.664	0.604	0.532	0.388	17.8	14.1	12.2	10.1	5.8
20	0.1875	0.305	0.365	0.435	0.58	0.812	0.696	0.636	0.564	0.42	18.4	15	13.2	11.1	6.8
25	0.1675	0.28	0.3375	0.405	0.5525	0.832	0.72	0.664	0.596	0.448	19	15.7	14	12	7.7
30	0.1575	0.26	0.315	0.3825	0.5275	0.844	0.74	0.684	0.616	0.472	19.3	16.3	14.6	12.7	8.4
35	0.1475	0.245	0.2975	0.3625	0.505	0.852	0.756	0.704	0.64	0.496	19.7	16.8	15.2	13.3	9.1
40	0.1375	0.23	0.28	0.3425	0.485	0.864	0.768	0.72	0.656	0.516	19.9	17.2	15.7	13.8	9.7
45	0.1275	0.2175	0.2675	0.3275	0.4675	0.872	0.78	0.732	0.672	0.532	20.2	17.5	16.1	14.3	10.2
50	0.1225	0.2075	0.255	0.315	0.45	0.876	0.792	0.744	0.684	0.548	20.4	17.8	16.4	14.7	10.7
55	0.1175	0.2	0.245	0.3025	0.4375	0.884	0.8	0.756	0.696	0.564	20.5	18.1	16.8	15.1	11.1
60	0.11	0.19	0.235	0.29	0.4225	0.888	0.812	0.764	0.708	0.576	20.7	18.4	17.1	15.4	11.5
65	0.1075	0.1825	0.2275	0.28	0.41	0.892	0.816	0.772	0.72	0.588	20.8	18.6	17.3	15.7	11.8
70	0.1025	0.1775	0.2175	0.2725	0.4	0.896	0.824	0.78	0.728	0.6	20.9	18.8	17.5	16	12.2
75	0.1	0.17	0.2125	0.2625	0.3875	0.9	0.828	0.788	0.736	0.612	21	18.9	17.7	16.2	12.5
80	0.095	0.165	0.205	0.255	0.3775	0.904	0.836	0.796	0.744	0.62	21.2	19.1	17.9	16.5	12.8
85	0.0925	0.16	0.1975	0.2475	0.37	0.908	0.84	0.8	0.752	0.632	21.3	19.3	18.1	16.7	13.1
90	0.09	0.155	0.1925	0.2425	0.36	0.908	0.844	0.808	0.76	0.64	21.3	19.4	18.3	16.9	13.3
95	0.0875	0.15	0.1875	0.235	0.3525	0.912	0.848	0.812	0.764	0.648	21.4	19.5	18.4	17.1	13.6
100	0.085	0.1475	0.1825	0.23	0.345	0.916	0.852	0.816	0.772	0.656	21.5	19.7	18.6	17.2	13.8
105	0.0825	0.1425	0.1775	0.2225	0.3375	0.916	0.856	0.82	0.776	0.664	21.5	19.8	18.7	17.4	14
110	0.08	0.14	0.175	0.2175	0.33	0.92	0.86	0.824	0.78	0.668	21.6	19.9	18.8	17.5	14.2
115	0.08	0.1375	0.17	0.2125	0.3225	0.92	0.864	0.828	0.788	0.676	21.7	20	19	17.7	14.4
120	0.0775	0.1325	0.165	0.2075	0.3175	0.924	0.868	0.832	0.792	0.684	21.7	20.1	19.1	17.8	14.6
125	0.075	0.13	0.1625	0.205	0.31	0.924	0.868	0.836	0.796	0.688	21.8	20.1	19.2	17.9	14.8
130	0.075	0.1275	0.16	0.2	0.305	0.928	0.872	0.84	0.8	0.696	21.8	20.2	19.3	18.1	15
135	0.0725	0.125	0.155	0.1975	0.3	0.928	0.876	0.844	0.804	0.7	21.9	20.3	19.4	18.2	15.1
140	0.07	0.1225	0.1525	0.1925	0.295	0.928	0.876	0.848	0.808	0.704	21.9	20.4	19.5	18.3	15.3
145	0.07	0.12	0.15	0.19	0.29	0.932	0.88	0.848	0.812	0.712	21.9	20.4	19.5	18.4	15.4
150	0.0675	0.1175	0.1475	0.185	0.285	0.932	0.88	0.852	0.816	0.716	22	20.5	19.6	18.5	15.6
155	0.0675	0.115	0.145	0.1825	0.28	0.932	0.884	0.856	0.816	0.72	22	20.6	19.7	18.6	15.7
160	0.065	0.1125	0.1425	0.18	0.275	0.936	0.888	0.86	0.82	0.724	22.1	20.6	19.8	18.7	15.8
165	0.065	0.1125	0.14	0.1775	0.2725	0.936	0.888	0.86	0.824	0.728	22.1	20.7	19.8	18.8	15.9
170	0.0625	0.11	0.1375	0.1725	0.2675	0.936	0.888	0.864	0.828	0.732	22.1	20.7	19.9	18.9	16.1
175	0.0625	0.1075	0.135	0.17	0.2625	0.936	0.892	0.864	0.828	0.736	22.2	20.8	20	18.9	16.2
180	0.06	0.105	0.1325	0.1675	0.26	0.94	0.896	0.868	0.832	0.74	22.2	20.9	20.1	19	16.3
185	0.06	0.105	0.13	0.165	0.255	0.94	0.896	0.868	0.836	0.744	22.2	20.9	20.1	19.1	16.4
190	0.06	0.1025	0.13	0.1625	0.2525	0.94	0.896	0.872	0.836	0.748	22.2	20.9	20.2	19.2	16.5
195	0.0575	0.1025	0.1275	0.16	0.25	0.94	0.9	0.872	0.84	0.752	22.3	21	20.2	19.2	16.6
200	0.0575	0.1	0.125	0.1575	0.245	0.944	0.9	0.876	0.84	0.752	22.3	21	20.3	19.3	16.7

Table 11. Minimum Insulation Thickness at Each Standard

Minimum Insulation Thickness(mm)					
Type	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe
TDR factor	10	30	50	80	180
f <sub>Rsi</sub> factor	5	25	35	60	140
Glaser (Measured)	10	35	50	80	185

Table 12. Energy performance of Each Standard

Heating Energy Gain & Loss Sample							
107	Existing						
	Lower Side (50mm)						
	Furniture (80mm)						
	Built-in Wardrobe (180mm)						
Heating Energy Demand Summary							
Type	Existing house (L/m <sup>2</sup> a)	Insulation Applied house (L/m <sup>2</sup> a) / Rate of Improvement(%)					
104	TDR	12.2	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe
	f <sub>Rsi</sub>		11.5 (-6%)	10.5 (-14%)	9.9 (-19%)	9.3 (-24%)	8.4 (-31%)
	Glaser (Measured)		11.8 (-3%)	10.7 (-12%)	10.3 (-16%)	9.6 (-21%)	8.6 (-30%)
105	TDR	14.0	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe
	f <sub>Rsi</sub>		13.1 (-4%)	12.1 (-14%)	11.7 (-16%)	10.9 (-22%)	9.7 (-31%)
	Glaser (Measured)		13.5 (-4%)	12.1 (-14%)	11.7 (-16%)	10.9 (-22%)	9.7 (-31%)
107	TDR	16.6	Exposed	Curtain	Lower side	Furniture	Built-in wardrobe
	f <sub>Rsi</sub>		15.6 (-6%)	14.2 (-14%)	13.4 (-19%)	12.6 (-24%)	11.4 (-31%)
	Glaser (Measured)		16.1 (-3%)	14.5 (-13%)	14.0 (-16%)	13.1 (-21%)	11.7 (-30%)

4.2 에너지 분석결과

표면 곰팡이 하자를 방지할 수 있는 수준의 단열을 각기 다른 실내 · 외 온도 조건과 실내의 가구 조건에 따라 분석을 수행하였으며, 조건별 최소 단열 구성은 다음 Table 11.과 같다.

다음과 같이 도출된 조건별 최소 단열재 두께를 활용하여 104동, 105동, 107동의 벽체 세대를 에너지 성능분석을 수행하였다. 에너지 성능분석은 ISO 52016(구ISO 13790)을 기준으로 수행되었으며, 그 결과는 Table 12.와 같다.

Table 12.에서 107동 세대의 열에너지 획득손실 그래프에서 검은 색 사각 상자가 외벽을 통한 에너지 손실량을 의미하는데, 50~80mm 정도의 단열재가 추가되면 외벽을 통한 에너지 손실량은

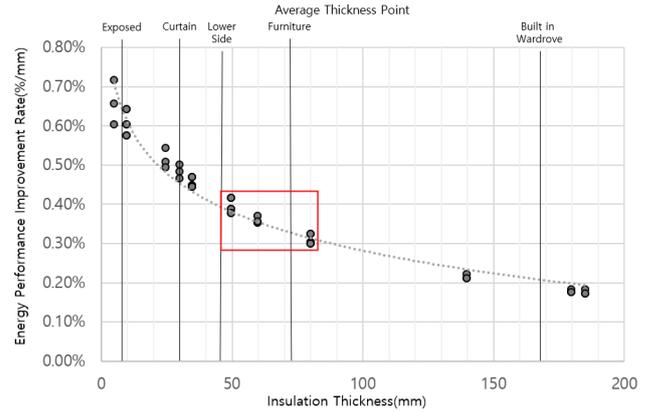


Fig. 1. Energy Performance Improvement Rate per Insulation Thickness

50% 이상 감소함을 확인할 수 있다. 이러한 양상은 다른 대표 세대에서도 비슷하게 확인할 수 있었다.

단열 증가에 따른 에너지 성능향상률은 평균적으로 노출되어 있는 벽 수준을 위생적으로 만족시킬 단열재일 경우 5%, 커튼 설치를 대응할수 있는 경우 14%, 벽체 하부 정체 공기를 대응할 수 있는 경우 18%, 일반적인 가구를 설치할 경우 24%, 붙박이장을 설치할 경우 31%의 수준이 나타나는 것으로 분석되었다.

단열 수준이 높아질수록 에너지 성능이 향상되는 것은 당연한 결과이기 때문에 민감도를 확인하기 위하여 단열재가 1mm 증가 시 난방에너지 성능향상률로 환산하였고 그 결과는 Fig. 1.과 같다. 단열이 없는 상태에서 단열재를 추가 시공 시 단열재 1mm당 성능 0.6~0.7%가량 에너지 성능이 향상하지만, 150mm 이상의 단열재 시공 시 1mm의 단열재가 추가되더라도 0.2% 정도의 낮은 수준의 성능향상을 보였다. 결과적으로 본 대상지의 경우, 45~80mm 수준의 단열재가 가장 경제적인 수준의 단열 보강으로 분석되었다.

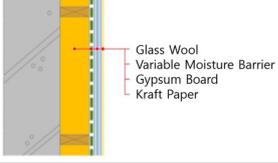
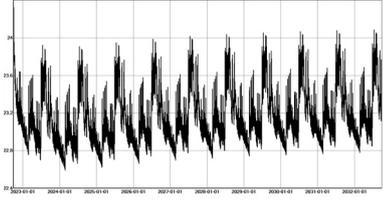
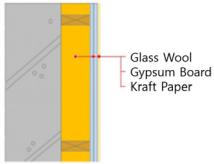
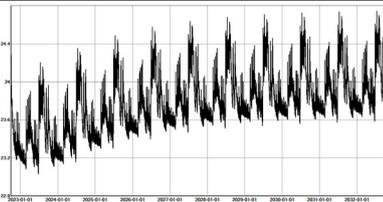
4.3 외벽 함습량 분석

전열해석결과와 에너지분석결과를 통하여 본 대상지에서는 우각 부 곰팡이 하자를 벗어나기 위한 적정 단열 수준으로 45~80mm 두께가 가장 경제적인 수준으로 분석되었다. 여기서 적용된 글라스울 단열재는 투습 성능이 높아 습기가 자유롭게 투과할 수 있다. 이러한 투습성능은 단열이 두꺼워질수록 벽체 내부에서 결로 및 곰팡이 하자 발생 가능성이 높아지며, 이러한 위험성을 예방하기 위해 국내 건축법에서는 신축기준일 경우 실내측의 방습층 시공을 의무화하고 있다. 이는 신축기준이지만 리모델링 건축물에서도 투습성능의 영향이 크게 다르지 않으며, Table 13.은 EN 15026을 활용하여 빗물의 영향을 받는 외벽을 대상으로 함습량 시뮬레이션을 수행한 결과이다.

Table 13.의 Total Water Contents는 리모델링 시공 후 10년간의 외벽 수분 함습량을 가변형 방습층 유무에 따른 양상을 나타낸 것으로 방습층이 시공될 경우 여름철 강수량이 많은 기간에는 일시적으로 함습량이 상승하지만, 7~8년차 이후로는 연중으로 비슷한 양상이 나타났다.

반면 방습층이 시공되지 않은 벽체의 경우, 연중으로 외벽의 함습량이 지속적으로 상승하였는데, 이러한 결과는 벽체 내부가 연중

Table 13. Hygrothermal Simulation Result

Type		Hygrothermal Simulation
Vapour Barrier	Composition	
	Total Water Contents (kg/m <sup>2</sup> )	
Without Vapour Barrier	Composition	
	Total Water Contents (kg/m <sup>2</sup> )	

으로 계속해서 다습해져 벽체 내부의 결로나 곰팡이가 발생할 가능성이 높아짐을 의미한다.

함습량 분석 결과, 본 대상지의 벽체 내부 결로와 곰팡이를 예방하기 위해서는 적정 단열 두께와 각상을 활용하여 방습지의 시공이 병행되어야 하는 것으로 분석되었다.

## 5. 결론

본 연구는 공동주택 유지관리형 리모델링 과정에서 거주자의 쾌적성 확보를 위한 적정 수준의 내단열 개선방안에 대하여 국내·외 기준을 적용하여 적정한 단열 수준을 제안하였고, 이에 적용 시 에너지 성능을 분석하여 경제적 수준의 단열 보장을 제시하였다.

첫째, 국내·외 표면 온도 분석법(TDR,  $f_{Rsi}$ , Glaser 방법)에 따라 결로·곰팡이에 대한 하자를 방지하는 기준은 실내 가구 배치 정도에 따라 다소 상이함이 나타났으며, 이에 대한 최소 단열재 적정 두께를 제시하였다.

둘째, 국내 그린 뉴딜 정책에 부합하는 무기질 단열재 중 글라스울 기준으로 서울 공동주택 유지관리형 리모델링 시 45~80mm 수준의 단열재가 가장 경제적인 수준의 보장이므로 나타났다.

셋째, 단열재에 따른 에너지 향상률은 1mm 추가 시 0.6~0.7%로 나타났지만, 적정 수준 초과 시 저조한 것으로 나타났다. 이는 무조건적인 단열 보장이 아니라, 국내 거주 환경에 따른 적정 단열 설계·시공법이 필요한 것을 보여주었다.

넷째, 빗물의 영향을 받는 외벽을 기준으로 함습량 시뮬레이션을 수행한 결과 실내측의 방습층 시공이 병행되어야 외벽의 습열안정

성을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다.

본 연구는 단열재의 정도에 따라 실내 거주 환경의 결로, 곰팡이를 예방하는 쾌적성 기준이 상이함을 보여주었다. 현재 국내 리모델링시장에서 적정 실내 환경에 따른 습도 범위의 기준이 미비하기 때문에, 적정 거주 환경에 따른 단열 설계·시공법에 대한 체계화가 필요하다.

## Acknowledgement

본 연구는 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : 2018201060010A).

## Reference

- [1] 김동준 외 3인, 공동주택 리모델링의 저층부 미기후환경 및 온열쾌적성 평가, 한국:한국도시설계학회지, 제19권 제3호, 2018, pp.33-46. // (D.J. Kim et al., Evaluation of Microclimate Condition and Thermal Comfort in Pedestrian-level Environment of a Remodeled Apartment Complex, Korea: Urban Design Institute of Korea, 19(3), 2018, pp.33-46.)
- [2] 서울시, 2025 서울특별시 공동주택 리모델링 기본계획(안), 2016.05. // (Seoul Metropolitan Government, Fundamental Plan for Apartment Remodeling in Seoul 2025, 2016.05.)
- [3] 김태룡 외 3인, 노후 공동주택 리모델링 시 외부차양 개선을 통한 냉방에너지 및 온열쾌적성 평가, 한국:한국생태환경건축학회, 제20권 제6호, 2020, pp.83-92. // (T.R. Kim et al., Evaluation of Cooling Energy and Thermal Comfort through the Improvement of Exterior Louver of a Remodeled Apartment, Korea: Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 20(6), 2020, pp.83-92.)
- [4] 박철용, 공동주택 단열설계기준 현황 및 과제, 한국:건설기술 쌍용, 통권 77호, 2020, pp.75-81. // (C.Y. Park, Current Status and Task of Insulation Design Standards for Apartment, Korea: Ssangyoung Engineering & Construction, 77, pp.75-81.)
- [5] 김주희, 김동우, 오세규, 한·일 노후 공동주택 리모델링 사업추진 프로세스 비교 연구, 한국:대한건축학회지회연합회, 제22권 제6호, 2020, pp.29-38. // (J.H. Kim, D.W. Kim, S.G. Oh, A Comparative Study on the Process for the Remodeling of Deteriorated Apartments in Korea and Japan, Korea: The Regional Association of Architectural Institute of Korea, 22(6), 2020, pp.29-38.)
- [6] 고원경 외 4인, 노후공동주택 세대수증가형 리모델링 사업의 기획단계 사업성평가 모델 개발, 한국:한국건설관리학회, 제20권 제4호, 2019, pp.22-33. // (W.K. Koh et al., Development of a Feasibility Evaluation Model for Apartment Remodeling with the Number of Households Increasing at the Preliminary Stage, Korea: Korea Institute of Construction Engineering and Management, 20(4), 2019, pp.22-33.)
- [7] 김주희, 김동우, 오세규, IPA 분석을 활용한 노후 공동주택 리모델링 단지의 거주민 중요 선택 요소에 관한 연구, 한국:대한건축학회지회연합회, 제23권 제5호, 2021, pp.105-112. // (J.H. Kim, D.W. Kim, S.G. Oh, A Study on the Important Selection Factors of Residents in Deteriorated Apartments Complexes Using IPA Analysis, Korea: The Regional Association of Architectural Institute of Korea, 23(5), 2021, pp.105-112.)
- [8] 강문환, 김호철, 공동주택 리모델링 사업 추진단계별 주민의사 중요도에 관한 연구, 한국:사단법인 아시아문화학술원, 제11권 제4호, 2020, pp.11-26. // (M.H. Kang, H.C. Kim, A Study on the Significance of Residents' Consciousness in Each Stage of Apartment Remodeling Projects, Korea: The Academy of Asian Cultural Studies, 11(4), 2020, pp.11-26.)
- [9] 윤상천, 신동철, 수직 증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가기준 합리화에 관한 연구, 한국:한국구조물진단유지관리공학회, 제24권 제6호, 2020, pp.197-205. // (S.C. Yoon, D.C. Shin, A Study on the Durability Evaluation Criteria for the Vertical Extension Remodeling of Apartment, Korea: The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 24(6), 2020, pp.197-205.)
- [10] 신희철, 최기봉, 윤상천, 공동주택의 증축형 리모델링 안전진단 내구성

- 평가의 표본 수 최적화 방안 연구, 한국:한국구조물진단유지관리공학회, 제22권 제3호, 2018, pp.60-68. // (H.C. Shin, K.B. Choi, S.C. Yoon, A Study on the Optimization of Field Sampling Number of the Durability Evaluation Method for the Extension Remodeling of the Apartment Housing, Korea: The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, 22(3), 2018, pp.60-68.)
- [11] 오지현, 김선숙, 노후 공동주택 외피 리모델링을 위한 창호 ECM 라이브러리 도출 및 활용, 한국:한국건축환경설비학회, 제14권 제6호, 2020, pp.662-673. // (J.H. Oh, S.S. Kim, Development and Application of Window ECM Library for Aged Apartments Envelope Remodeling, Korea: Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 14(6), 2020, pp.662-673.)
- [12] 한현주 외 3인, 리모델링에 의한 공동주택의 주광 성능 향상 분석, 한국:한국생태환경건축학회, 제19권 제2호, 2019, pp.73-79. // (H.J. Han et al., Daylighting performance enhancement of an apartment building by remodeling, Korea: Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 19(2), 2019, pp.73-79.)
- [13] 이상현, 정민희, 공동주택의 단열, 결로방지 설계 사례조사를 통한 설계 계획안 제시, 한국:한국생태환경건축학회, 제19권 제4호, 2019, pp.61-66. // (S.H. Lee, M.H. Chung, A Design Improvement for Insulation and Condensation Prevention by the Case Studies in Apartment Buildings Focused on the Viewpoint of the Designer, Korea: Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 19(4), 2019, pp.61-66.)
- [14] 조행필, 오지현, 김선숙, 노후 공동주택 단열 성능 개선을 위한 외피 리모델링 프로토타입 개발대상부위 설정, 한국:한국건축환경설비학회, 제11권 제1호, 2017, pp.52-57. // (H.P. Jo, J.H. Oh, S.S. Kim, A Study on the Target Parts for Envelope Remodeling Prototype to Improve Thermal Performance of Old Multi family Residential Buildings, Korea: Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(1), 2017, pp.52-57.)
- [15] 이도형, 원종연, 변수영, 정상상태 3차원 열전달해석 프로그램을 활용한 복도식 공동주택의 단열 및 복도공간 개선에 따른 열손실량 분석, 한국:한국건축환경설비학회, 제14권 제6호, 2020, pp.589-600. // (D.H. Lee, J.Y. Won, S.Y. Byun, Analysis of Heat Losses by Improvement of Insulation and Hallway Space in a Hallway Type Multi-Unit Dwelling Using a Steady-State Three-Dimensional Heat Transfer Analysis Program, Korea: Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 14(6), 2020, pp.589-600.)
- [16] 김정민 외 4인, 공동주택 외벽에서 창 고정부위 열교 개선 대안의 단열성능 평가, 한국:한국건축환경설비학회, 제13권 제5호, 2019, pp.325-336. // (K.M. Kim et al., Insulation Performance Evaluation of Alternatives for Reducing Thermal Bridging Effects in Window Fastening Areas of Apartment Outer Wall, Korea: Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 13(5), 2019, pp.325-336.)
- [17] 신미수, 이규남, 공동주택 결로 방지 보조 단열재의 난방 에너지 저감 성능 분석, 한국:한국건축환경설비학회, 제15권 제1호, 2021, pp.52-62. // (M.S. Shin, K.N. Rhee, Investigation of Heating Energy Reduction Performance by Supplementary Insulation for Condensation Prevention in Apartment Buildings, Korea: Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(1), 2021, pp.52-62.)
- [18] 김강수 외 3인, 우각부 외피접합부의 단열 및 결로 성능 평가에 관한 연구, 한국:대한건축학회, 제16권 제9호, 2000, pp.163-168 // (K.S. Kim et al., A Study on Evaluation of Insulation & Condensation Performance in Corners of Building Envelops, Korea: The Architectural Institute of Korea, 16(9), 2000, pp.163-168.)
- [19] 서울주택도시공사, 단지별 임대정보, <https://www.i-sh.co.kr>, 2021.12.15. // (Seoul Housing & Communities Corporation, Rental Information of Apartments, <https://www.i-sh.co.kr>, 2021.12.15.)
- [20] 김길태 외 3인, 소형 공동주택의 동계 실내온습도 조사를 통한 결로 방지 설계 기준온습도 설정방안, 한국:한국토지주택공사 토지주택연구원, 제5권 제4호, 2014, pp.291-296. // (G.T. Kim et al., The Design Criteria of the Indoor Temperature and Humidity for the Prevent Condensation of Small Apartment Buildings, Korea: LHI journal of land, housing, and urban affairs, 5(4), 2014, pp.291-296.)
- [21] 김동준 외 3인, 북한 주거 건축물 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능기준 제안, 한국:한국생태환경건축학회, 제20권 제4호, 2020, pp.59-66. // (D.J. Kim et al., Suggestion of Insulation Performance Criteria for Exterior Walls to Prevent Mold Growth of Residential Facilities in North Korea, Korea: Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 20(4), 2020, pp.59-66.)
- [22] IPTargets, 기술&시장 리포트 유리섬유 보온단열재. // (IPTargets, Technology & Market Report Glass Fiber Thermal Insulation Material.)