



## 북한 주거 건축물 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능기준 제안

### *Suggestion of Insulation Performance Criteria for Exterior Walls to Prevent Mold Growth of Residential Facilities in North Korea*

김동준\* · 김태룡\*\* · 박종일\*\*\* · 이정훈\*\*\*\*

Dong-Jun Kim\* · Tae-Ryong Kim\*\* · Jong-Il Park\*\*\* · Jeong-Hun Lee\*\*\*\*

\* Main author, Researcher, Department of Urban and Architectural Environment Design, Passive House Institute Korea, Seoul, Korea (imissyou1988@nate.com)

\*\* Coauthor, Researcher, Department of Urban and Architectural Environment Design, Passive House Institute Korea, Seoul, Korea (ktl9360@gmail.com)

\*\*\* Coauthor, Researcher, Department of Urban and Architectural Environment Design, Passive House Institute Korea, Seoul, Korea (azalea0409@gmail.com)

\*\*\*\* Corresponding author, Researcher, Department of Urban and Architectural Environment Design, Passive House Institute Korea, Seoul, Korea (lllm002124@gmail.com)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Most of architectural infrastructures in North Korea have been deteriorated, and the large number of residential houses have been in short supply. They have had such a problem with poor housing supply, while they are intending to invest in the green energy industry continuously emphasizing the ‘Green Economy’. However, they have regulated their building codes in a descriptive way, so they have not provided differential design guidelines by region in North Korea. **Method:** Thus, climate data of 11 regions in North Korea were derived through simulations, and the data were used to classify the external temperature conditions for the minimum period of time that affect the comfort of residential buildings in the North Korean climate. Subsequently, through the three-dimensional thermal analysis, the performance of the exterior wall and the thickness of the insulation were proposed to ensure the comfort of the building. **Result:** It is expected that this study can help decrease building energy use and design costs by proposing a guideline on a building envelope by region in the North Korean climate, which will contribute to the development of the green building industry.

#### KEYWORD

북한  
쾌적성  
단열 성능기준  
외벽

North Korea  
Comfort  
Insulation Performance Criteria  
Exterior Wall

#### ACCEPTANCE INFO

Received May. 21, 2020  
Final revision received Jun. 30, 2020  
Accepted Jul. 3, 2020

© 2020. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

현재 북한의 도시·건축 인프라는 대부분 노후화되어 있거나 부족한 상황이다. 이 중 주거시설은 특히 턱 없이 부족하기에 대규모 수요가 발생할 전망이다. 이러한 상황과 맞물려 4차 산업혁명과 기후변화라는 세계적 트렌드, 국제적 경쟁력을 확보하기 위해 신재생 에너지와 녹색건축이 어느 정도 적용될지 관련 업계가 주목하고 있다. LHI 연구에 따르면 북한의 경우 1994년부터 2017년까지 북한에서 공급된 주택이 57만 호로 연간 약 2만 호가 공급되었지만 주택 보급률은 70%에 불과한 것으로 분석했다. 전체 주택은 2013년까지 513만 호로 분석되었는데, 1993년 이전 건축된 주택이 478만 호로 20년 이상 노후주택이 전체의 90%에 달하는 수준이다. 경제제재에 따른 북한의 배급제 붕괴 현상으로 주택 시장의 경우 공공연히 주택의 거래가 발생하고 있으며, 중국 기업의 외부 자본을 통해 주택을 공급하기도 한다. 이와 같은 사실은 북한 당국의 주택 공급여력이 제한적임을 나타내지만 다양한 주체와 공급 사업이 추진될 가능성을 보여주며 부동산개발에 따른 수익사업도 불가능하지 않다는 바를 시사한다[1].

이처럼 열악한 주택공급에 대한 문제를 고려함과 동시에 북한은

‘녹색경제’를 강조하여 녹색 에너지 분야의 투자를 지속적으로 하고 있다. 1990년대부터 수력발전소, 풍력발전소를 전국에 설립하였다. 2011.8에는 환경보호법을 개정하여 재생에너지 개발, 환경인증제 실시, 재자원화 기술도입 등을 추가하였고, 2014.12에 ‘조선록색후원기금’이라는 기구를 조성하여 녹색발전에 이바지한다고 공표하였다.

최근 2018년 북한 신년사 내용을 살펴보면 이러한 지속적인 투자를 기반으로 에너지 절약을 위한 다양한 방안을 제시하는 것을 볼 수 있다. 이들은 산업기반 및 에너지 자립기반과 관련된 건설방향을 중점으로 에너지 문제 해결을 위해 대규모 수력발전소인 단천발전소 및 각 지역의 중소형 발전소 건설에 집중한다고 발표하였다. 또한 신규 대규모 건설과 동원보다는 기존 건설사업의 지속을 통한 자원절약을 강조한다고 하여 전력문제가 경제발전에 가장 큰 걸림돌이 되고 있어 산림복원 및 에너지 절약을 통한 환경관리를 중시하는 것으로 나타났다[2].

북한 건축 분야에서는 에너지 절약을 위한 다양한 방안을 제시하여 ‘녹색건축’을 강조하였는데 ‘녹색건축의 7대 추세’로 지속가능한 재료의 사용, 공기대류 설계, 자연에너지 건물 설계, 물의 재이용, 빗물 및 큰물관리, 밀폐창문과 지능유리 도입, 냉지붕설계를 제시하였다. 또한 녹색, 지능형 건축을 창조하기 위해 사업추진을 강조하였는데, ‘친환경 살림집’을 지구환경을 손상시키지 않고 재생 가능한 에너지로 살림집 건설과 운영에 필요한 에너지 수요를 보장하면

Table 1. Details of Energy Saving

Goal	Details of Measure
20% reduction in carbon dioxide through insulation	• 200mm Insulation on Ceiling and Wall
	• Keep warm with 80mm Insulation on the floor
	• Using Aluminum Window and Double Glazing
28% less power with facilities	• Reduced power consumption in Air Conditioners
	• Reduced power consumption using LED lights
	• Reducing Energy Consumption in Building Facilities
Reduced carbon dioxide emissions from solar energy	• Improve insulation and use Efficient lighting
	• Introduction of high performance Heat pumps and Fuel cells
	• Use solar energy with a Power generation Capacity of 4.8kW

서 살림집 환경을 자연환경에 접근시키는 것이라 정의하고 이를 위해 환경파괴현상이 일어나지 않게 설계하는 것, 풍요한 자연환경이 조성되게 설계하는 것, 건강에 좋은 살림집을 설계하는 것으로 요구 조건을 제시하였다. 이러한 환경보호형 살림집에서의 에너지 절약 대책 제시방향으로는 Table 1.과 같다[3].

이처럼 북한에서도 녹색에너지 분야에 대한 관심은 지속적으로 증가할 것으로 예상되며, 본 연구에서는 북한 기후 조건에 부합하는 주거 건축물의 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능기준을 제시 하였다. 이는 열악한 북한에서 생물학적 오염으로부터 재실자의 건강과 안전을 유지하기 위하여 올바른 외벽 성능 기준의 조석으로 의 의를 갖는다.

### 1.2. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 북한 기후조건에서 주거건물의 벽체 우각부에 곰팡이 발생 방지를 위한 외벽 단열 성능 기준을 제안하는 것을 목적으로 한다.

이를 위해서 북한의 전체 지역을 대상으로, 스위스 Meteotest 에서 개발한, 기상 분석 소프트웨어 Meteororm 7을 활용하여 기후 분석을 실시하였다. 이를 통해 북한의 지역별 기후 조건을 분석하였고, 3차원 외벽을 시뮬레이션함으로써 북한 지역별 적정수준의 열 관류율을 제시하고, 이에 맞는 건축물 외벽 단열 성능 기준을 제시하였다(Fig. 1. 참고).

## 2. 선행연구 고찰

### 2.1. 북한 건축 관련 연구

최근 남·북한의 정책 방향 및 문화교류를 고려할 때 북한 관련 연구들은 지속적으로 수행될 것이라 사료된다. 북한 건축 관련 논문은 크게 북한 건축지식 분야, 이주민과 주거 공급, 법·제도 재정비, 통합 인프라 구축 방안으로 분류할 수 있다.

Lee(2019)는 한반도의 통일은 크게 급진적인 통일 환경과 점진적 통일 환경 상황 2가지로 나누어 대안에 대한 대응방법을 제안하였다. 급진적인 통일 환경 시 대규모 인구이동에 따른 대규모 주거시설

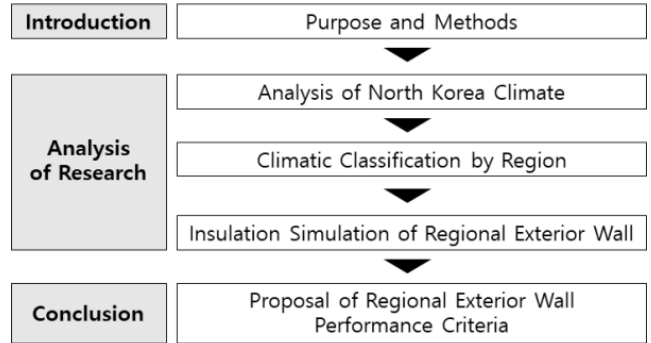


Fig. 1. Research Flow

공급에 대한 대비, 임시로 공급된 주거 시설을 영구화시키는 구조시스템 및 공법 등에 대한 준비가 필요하다고 했으며, 점진적 통일 환경 시 문화재 공동 발굴 및 보존, 북한의 주거시설 리모델링, 유지 관리보수에 대한 준비가 필요하다고 제안하였다[4].

Lee and Han(2018)은 통일 환경에 따라 북한 주민의 인구이동이 전혀 다른 양상으로 전개될 것으로 간주하고 ‘급진적 통일 환경’과 ‘점진적 통일 환경’에서 나타날 북한 주민의 인구이동 발생 요인을 분석하여 북한 지역 내 주거 공급과 인프라 조성을 통한 대응 전략을 제안하였다[5].

Kim et al.(2017)은 통일을 대비하여 북한 이주민 정착을 위한 주거공급 및 단지조성전략에 대한 기초연구로서 공급 가능한 임시 주거시설에 대한 현황을 조사·분석하고 지속가능한 정착 환경을 고려한 임시주거시설 사례를 조사하였다[6].

Shin et al.(2017)은 김정은 집권 이후부터의 남·북한 법제 관련 선행연구 분석, 통일 및 위기사항 대응 관련 문헌 분석, 통일 대비 주거공급 관련 현 법령 분석을 통하여 통일 시 대량탈북사태와 통일 대비 주거공급과 관련된 상황 및 대비 시나리오 관련 문헌 분석을 실시하여 향후 주거공급을 위한 방향을 설정하고, 북한 주거공급을 위한 건축 관련 법제정비의 필요성을 분석하였다[7].

Shin(2016)은 ‘건축예술론’이라는 책자를 소개하고 주요 부분의 의미에 대해 비평을 하였다. 이를 통해 북한 건축에 대한 개념과 지식을 미리 숙지하여 북한 건축에 대한 환상이나 오해를 불식시키고자 하였다[8].

Jo and Kim(2016)은 통합될 남·북간 격차를 해소하기 위한 국가 예산의 투자 개념으로 통일단계에서 수행될 것으로 예상되는 건축 인프라 개선사업의 실효성 확보를 위한 추진 모델을 소개하였다. 이를 통해 북한 주민의 삶의 질 향상 및 사회적 안정을 기대하며, 선제적 의사결정체계의 마련을 기대하였다[9].

Lee and Kim(2015)은 통계청 “2014 북한의 주요통계 지표”와 한 국은행 통계자료를 활용하여 남·북 주요 시설물에 대한 현황조사를 실시하고, 북한 관련 외부 전문가 및 새터민을 대상으로 심층 면접을 수행하여 주요 SOC를 포함한 시설물에 대한 현황 파악 및 국가 차원의 통합 인프라 구축을 위한 전략적 방안을 수립하였다[10].

Oh(1998)는 통일 시나리오를 무력통일, 점진적·단계적 통일, 북한 봉기 흡수 통일로 나누어 각 상황에 따른 통일 정책과 건축의 관계에 대해 고찰하고, 통일거점 도시 구상은 사례 분석을 통해 제안 하였다[11].

## 2.2. 연구의 차별성

이처럼 북한 건축 관련 연구는 다양한 분야에서 연구가 진행되어 왔다. 연구는 크게 북한 건축지식에 대한 전반적 이해, 통일대비 시 이주방식에 대한 논의, 법·제도 방향에 대한 재정비 등 다양한 시나리오 기반으로 치중되어 있다. 그러나 실질적인 북한 주거환경에 대한 기초 환경 구축에 대한 준비는 미비하다. 친환경·저에너지 방향으로 가는 남한의 다양한 친환경 건축 정책을 고려해 볼 때, 북한에서도 또한 구체적인 기초 인프라를 구축해야 추후 통일 시 간극을 최소화할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구는 북한의 전체 지역을 대상으로 기상분석 소프트웨어 Meteornorm 7을 활용하여 지역별 기후 조건을 분석하고, 주거 시설의 쾌적성을 확보하기 위한 외벽 단열 성능 기준을 제안하고자 한다.

## 3. 연구방법론

### 3.1. Meteornorm7 시뮬레이션 개요

기상은 매년 달라지므로 한 해의 관측데이터로는 해당 지역의 기상을 대표할 수 없으므로 다년간의 관측 데이터를 통계 처리하여 기상 상태를 대표할 수 있는 기상 데이터를 만들어야 하며, 이를 표준 기상 데이터라고 한다. 표준 기상 데이터를 만들기 위한 연구의 성과는 1976년부터 발표되기 시작했으며, 미국 NCDC(National Climate Data Center)에서 개발한 TRY(Test Reference Year)가 최초의 방법이다. TRY는 건구온도, 습구온도, 노점온도, 풍향, 풍속, 기압, 상대습도, 운량 및 구름 종류의 9개의 기상요소로 구성되며, 1948년부터 1975년까지의 미국 지역의 관측 데이터를 기반으로 점진적으로 최고와 최저 관측데이터가 포함된 년도를 제거하는 과정을 거쳐 표준 데이터를 만들게 된다. 하지만 이러한 과정에서 극단적인 기상변화는 제거하고 온화한 기상상태만 포함하는 문제가 발생하게 되었으며 일사량을 포함하지 않았기 때문에 시뮬레이션 프로그램에 적용 시 문제가 발생하게 되었다. 이에 TRY의 한계점을 개선하기 위해 1980년 대 미국 NCDC는 TMY(Typical Meteorological Year)를 ASHRAE(American Society of Heating and Air-Conditioning Engineers)는 WYEC(Weather Year for Energy Calculation)을 개발하였다. TMY는 TRY 데이터에 수평면 전일사와 법선면 직달 일사를 추가하였고, 월별 온도, 일사량, 풍속 기상요소를 복합적으로 비교하여 관측기상데이터의 장기 분포에 가장 가

까운 월 데이터를 추출하여 표준 기상 데이터를 만들게 되었는데 이중 TMY3는 1976~2005년 간의 데이터를 사용한 것으로 Meteornorm 7은 이 기상 데이터를 이용하였다[12].

Meteornorm 7 프로그램은 전세계 8,300곳 이상의 기상관측소에서 측정된 실측값을 포함하고 있는 글로벌 기후 데이터베이스이다. 이 프로그램은 기상관측소에서 측정된 8개의 월간 기후자료 평균값을 기반으로 전 세계 모든 곳의 월별, 시간별 기상자료를 해석 및 제공할 수 있으며, 건물에너지 해석분야 및 신재생 에너지 분야 외에도 다양한 분야에서 사용하고 있다[13].

국내의 경우 정부에서 제공하는 표준기상자료는 없으며, 국내 학회 중 한국태양에너지학회에서 유일하게 표준기상자료를 배포하고 있다. 서울, 인천, 대전, 대구, 광주, 울산, 부산에 대한 기상자료만 지원하고 있는 실정으로 인접 도시를 분석할 경우 광역시의 기상자료를 활용하는 실정이다. 배포하고 있는 기상자료와 각 도시의 수평면 일사량 비교를 통해 Meteornorm 7의 기상데이터의 신뢰성을 확인한 결과 Table 2.와 같이 약 4.14%까지 오차가 발생하지만 대체적으로 비슷한 분포를 나타내는 것으로 나타났다[14].

이러한 신뢰성을 바탕으로 Meteornorm 7은 기후 데이터가 미비한 곳에서 데이터 구축을 하기에 적합한 프로그램으로 증명되었고, 국내에서도 다양한 연구에 기초자료로서 사용되고 있다[15-20].

### 3.2. 3차원 전열해석을 통한 지역별 열관류율 산출

현재 국내 건축물의 에너지절약설계기준은 건축물 각 개별간의 구성요소에 대하여 단열성능에 대한 기준 및 계산방법을 제시하고 있으며, 건축물의 하자발생의 원인인 열교발생에 대해서는 성능규제 및 평가방법에 대하여 명확한 기준이 없는 실정이다.

즉 외피의 모서리 부분에 열교가 발생하지 않도록 단열재를 충분히 설치하는 것으로 권고하고 있는 수준이기에 외벽에 있어서 건축물의 접합부 부분에 발생하는 열교를 통한 열손실을 막는게 실제 쾌적성 확보를 위한 방법으로 일반화되어 있다. 이에 본 연구는 3차원 전열해석 시뮬레이션 결과를 토대로 북한 지역별 기후에 맞는 적절한 외벽 단열 성능 기준을 제안하고자 한다.

현재 국내 표준기구인 ISO에서 규정하는 열교부위를 통한 열손실 계산방법은 ISO10211:2007의 방법을 기준으로 표준 모델링을 3차원 전열해석 시뮬레이션으로 진행하고자 한다. 이 시뮬레이션은 ISO 10211:2007, EN ISO 10077-2:2012, EN ISO 13788:2001의 기준을 따르고 있는 Heat3 프로그램을 사용하였다. 이러한 모든 전열해석은 정상상태(Steady-state-condition)를 가정하여 진행하였다.

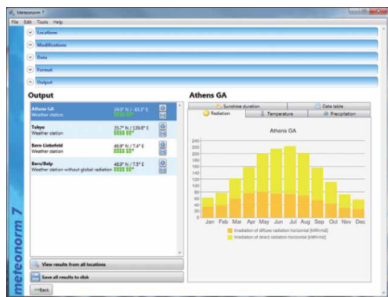


Fig. 2. Meteornorm7 Programming (Source: Global Meteorological Database)

Table 2. Solar Radiation Error Rate in 5 Regions

	Seoul	Daejeon	Daegu	Busan	Gwangju
Meteornorm 7 (kWh/m <sup>2</sup> )	1,177.6	1,300	1,310	1,313.8	1,399.0
The Korean Solar Energy Society (kWh/m <sup>2</sup> )	1,178	1,332.4	1,305.3	1,261.6	1,363.5
Error Rate (%)	0.03	2.43	0.36	4.14	2.6

표면온도는 Table 2.의 결과처럼 같은 외벽의 구성이라 하더라도 1차원 벽체보다는 2차원 코너에서 더 낮은 표면온도를 보이며, 2차원 코너보다는 3차원 모서리에서 보다 낮은 표면온도를 나타낸다. 열교가 없는 이상적인 건축물이라고 가정한다면 3차원 모서리에서의 조건이 건축물 내부에서 가장 열악한 표면 조건이고 이 지점의 표면온도의 안정성을 확보한다면 다른 부위에서도 안정적인 온도를 만들 수 있다. 때문에 본 연구에서는 3차원 코너를 중점적으로 분석하여 표면온도를 안정적으로 가져갈 수 있는 외벽의 성능을 제안코자 한다.

시뮬레이션의 표준모델은 ISO10211:2007 기준에서 건물의 절단면의 최소 기준은 단면 두께의 3배 이상이나 1(m)이상으로 모델링 함이 명시되어있어 그 기준을 차용하여 1×1×1(m)의 외벽을 모델링하였다. 이를 통해 각 지역별로 가장 추운 외기조건일 때 실내측 표면온도가 12.6℃를 만족하는 열관류율을 측정하는 방법으로 진행하였다(Table 4. 참고).

DIN 4108-2와 4108-3에서 다루는 그레이저법에는 곰팡이형성을 방지하기 위한 표면온도를 12.6℃, 결로를 예방하기 위한 온도는 9.3℃로 명시하고 있으며, 이 두가지 판정 기준 중 강한 기준인 곰팡이 판정기준 12.6℃를 본 연구에서 표면온도의 하한선으로 설정하였다. [21] 12.6℃가 곰팡이 발생 가능성에 대한 판정기준인 것은 사실이나 12.6℃의 표면온도 조건이 단기간 발생하고 다시 표면온도가 상승한다면 12.6℃의 표면온도 조건이 발생하더라도 곰팡이 발생 하자는 생기지 않는다. 이러한 곰팡이 발생에 관한 선행연구에서 국내 건축자재 조합으로 곰팡이 하자가 최초로 발생하는 시점 및 기간을 실험한 결과 최초로 곰팡이가 발생하는 최소 기간은 6일 분석되었다[22]. 이에 본 연구는 연 중 가장 추운 6일의 평균값을 각 지역별로 산출하여 시뮬레이션의 외기온도 조건으로 설정하였다.

Table 3. Surface Temperature of building parts

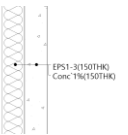
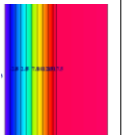
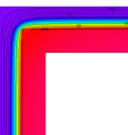
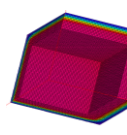
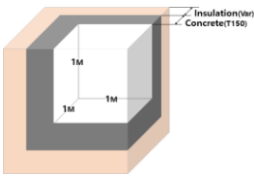
Composition of Wall	Wall Temperature	Corner Temperature	Edge Corner Temperature
			
Lowest Surface Temperature(℃)	19.3	18.7	17.84

Table 4. Standard Model Proposal

Standard Model	Details	
	Wall Composition [W/m·K]	EPS1-3 Var(0.04) Concrete 1% T150(0.23)
Size [m]	1×1×1	
Interior Conditions	20℃, 50%	
Interior surface transfer resistance	1.0m <sup>2</sup> ·K/W	
Exterior surface transfer resistance	0.043m <sup>2</sup> ·K/W	


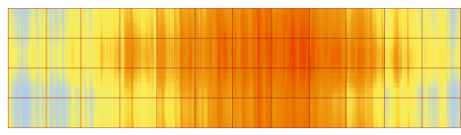
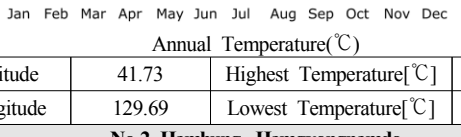
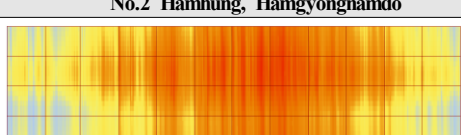
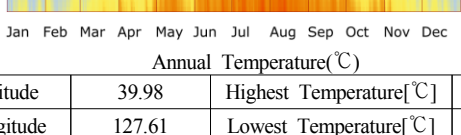
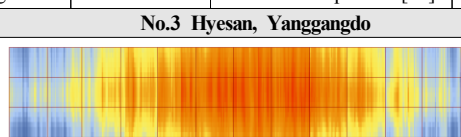
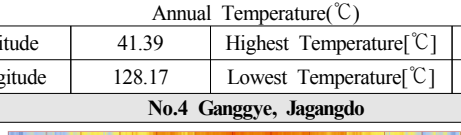
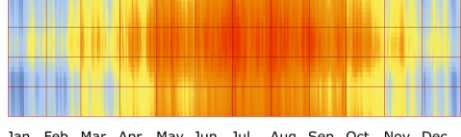
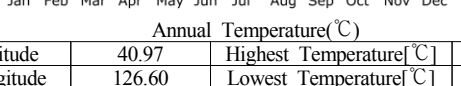




## 4. 분석결과

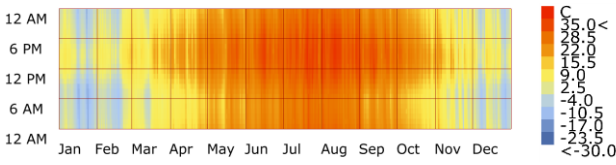
### 4.1. 북한 지역별 기후 분류

북한 기후 시뮬레이션은 각 행정 구역별 위도와 경도를 파악하여 11개 도시를 기후 데이터를 생성하였다. 이 때 위치정보는 통일부의 위치 정보와 기상청 정보를 참고하였다(Table 4. 참고).

Table 5. Climate Analysis

North Korea Keymap			
			
No.1 Chongjin, Hamgyongbukdo			
12 AM			
6 PM			
12 PM			
6 AM			
12 AM			
Annual Temperature(℃)			
Latitude	41.73	Highest Temperature[℃]	29.80
Longitude	129.69	Lowest Temperature[℃]	-14.10
No.2 Hamhung, Hamgyongnamdo			
12 AM			
6 PM			
12 PM			
6 AM			
12 AM			
Annual Temperature(℃)			
Latitude	39.98	Highest Temperature[℃]	34.70
Longitude	127.61	Lowest Temperature[℃]	-15.70
No.3 Hyesan, Yanggangdo			
12 AM			
6 PM			
12 PM			
6 AM			
12 AM			
Annual Temperature(℃)			
Latitude	41.39	Highest Temperature[℃]	31.70
Longitude	128.17	Lowest Temperature[℃]	-28.30
No.4 Ganggye, Jagangdo			
12 AM			
6 PM			
12 PM			
6 AM			
12 AM			
Annual Temperature(℃)			
Latitude	40.97	Highest Temperature[℃]	33.80
Longitude	126.60	Lowest Temperature[℃]	-25.20

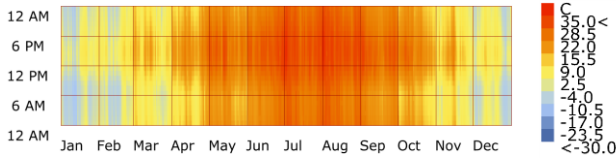
**No.5 Guseong, Pyeonganbukdo**



Annual Temperature(°C)

Latitude	39.93	Highest Temperature[°C]	33.10
Longitude	125.21	Lowest Temperature[°C]	-19.50

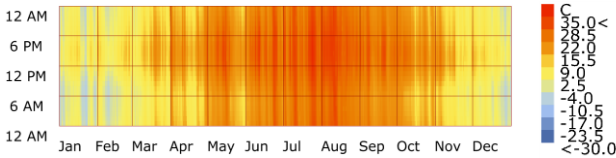
**No.6 Suncheon, Pyongannamdo**



Annual Temperature(°C)

Latitude	39.43	Highest Temperature[°C]	34.10
Longitude	125.93	Lowest Temperature[°C]	-16.10

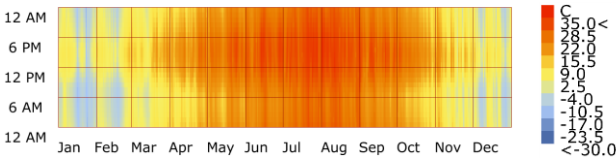
**No.7 Wonsan, Gangwondo**



Annual Temperature(°C)

Latitude	39.15	Highest Temperature[°C]	34.00
Longitude	127.45	Lowest Temperature[°C]	-12.70

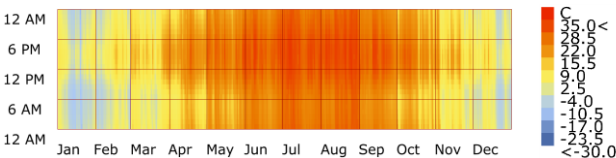
**No.8 Pyongyang**



Annual Temperature(°C)

Latitude	39.04	Highest Temperature[°C]	33.80
Longitude	125.76	Lowest Temperature[°C]	-17.40

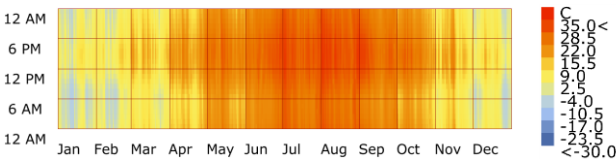
**No.9 Sariwon, Hwanghaebukdo**



Annual Temperature(°C)

Latitude	38.50	Highest Temperature[°C]	32.30
Longitude	125.75	Lowest Temperature[°C]	-16.90

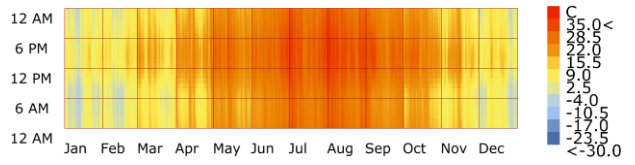
**No.10 Haeju, Hwanghaenamdo**



Annual Temperature(°C)

Latitude	38.04	Highest Temperature[°C]	33.00
Longitude	125.71	Lowest Temperature[°C]	-14.20

**No.11 Gaeseong**



Annual Temperature(°C)

Latitude	37.94	Highest Temperature[°C]	33.80
Longitude	126.59	Lowest Temperature[°C]	-13.20

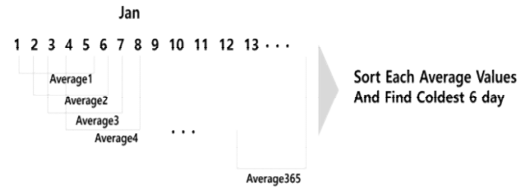


Fig. 3. Climate Analysis Method of Find the Coldest 6 days

Table 6. The Coldest Periods by Region

Location	Coldest 6days	
	Temperature(°C)	Period (Julian Date)
Chongjin, Hamgyongbukdo	-8.58	10 - 15
Hamhung, Hamgyongnamdo	-6.75	359 - 364
Hyesan, Yanggangdo	-21.18	9 - 14
Ganggye, Jagangdo	-17.62	6 - 11
Guseong, Pyeonganbukdo	-11.55	21 - 26
Suncheon, Pyongannamdo	-9.62	6 - 11
Wonsan, Gangwondo	-5.51	17 - 22
Pyongyang	-9.86	21 - 26
Sariwon, Hwanghaebukdo	-9.43	12 - 17
Haeju, Hwanghaenamdo	-6.62	7 - 12
Gaeseong	-5.44	7 - 12

$$\Theta_{si} = \Theta_i - U \times R_{si} \times (\Theta_i - \Theta_e)$$

$\Theta_{si}$  : Interior Surface Temperature (°C)     $\Theta_i$  : Interior Air Temperature (°C)  
 $U$  : Thermal Conductivity (W/m<sup>2</sup>K)     $R_{si}$  : Internal Surface Resistance (m<sup>2</sup>K/W)  
 $\Theta_e$  : Exterior Air Temperature (°C)

Fig. 4. Interior Surface Temperature Equation

Meteonorm 7을 활용한 기후시뮬레이션 데이터를 바탕으로 가장 추운 6일의 평균값을 지역별로 분류하였으며(Fig. 3. 참고), 연중 가장 추운 6일의 데이터는 1년을 월 단위로 분류하지 않고 1월 1일부터 날짜를 누적하여 계산하는 올리우스 일로 계산하였다(Table 6. 참고).

4.2. 북한 지역별 열관류율 산출

실내 측 표면 온도는 외벽의 단열 성능에 의해 절대적인 영향을 받는다. 표면에서 전달되어 오는 복사에 의한 한기와 온도차의 영향으로 느껴질 수 있는 옷풍 그리고 극단적으로 표면 온도가 낮아서 생기는 곰팡이 혹은 결로까지 표면 온도는 재실자의 쾌적성과 직접적인 영향이 있다. 이러한 실내 측의 표면온도는 외기온도와 실내측 온도, 그리고 외벽의 성능을 통해 계산한다(Fig. 4. 참고).

상기 수식에 의한 분석은 외벽 성능에 의한 표면 온도를 산출하는 수식으로 이 수식에는 건물의 외벽 성능뿐만 아니라 재실자가 건축물을 사용하는 실내 조건에 대한 정보도 포함하고 있다. 여기서 재실자가 사용하는 실내 정보 조건은 실내 측 표면전달저항에 수치화되어 반영되어 있다.

국내 건축법규에서는 실내 측 표면전달저항에 대한 기준을 Table 7.과 같이 정의하며, 이 중 외기에 직접 면하는 실외표면열전달저항인 0.043m<sup>2</sup>·K/W를 시물레이션에 반영한다. 국내의 실내표면열전달저항은 단순한 외벽에 대한 단열 성능 기준으로 재실자의 환경에 대한 변수는 반영하고 있지 않다. 이에 국외에서 사용하는 DIN 4108-2, EN ISO 13788에서 제시하는 가구유무, 커튼 설치 유무 등 실내 환경을 달리했을 시 표면전달저항에 대한 값을 제시하는 Table 8. 중 가장 열악한 환경 조건인 불박이 장이 설치할 경우를 반영하여 실내표면열전달저항 값인 1.00m<sup>2</sup>·K/W를 반영하였다.

실내온도는 20℃ 실외온도는 Table 6.의 조건을 지역별로 달리 적용하였다. 모델링 조건은 Table 3.과 같은 구성이며 최초 단열 두께 150mm로 시작하여 단열두께를 증가시키면서 3차원 시물레이션 반복하였고 시물레이션 과정에서 표면온도를 모니터링하면서 코너측 표면온도가 12.6℃이상을 달성하면 시물레이션을 종료하였다. 시물레이션 결과 최종적으로 지역별 12.6℃이상의 표면온도를 유지할 수 있는 열관류율은 Table 9.와 같다.

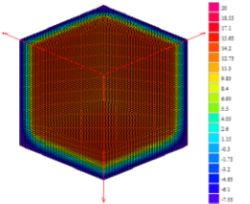
Table 7. Surface Resistance Code in South Korea

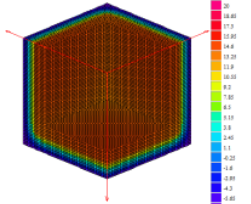
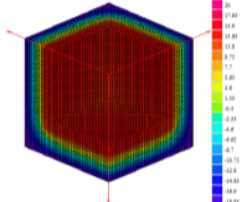
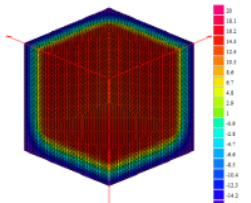
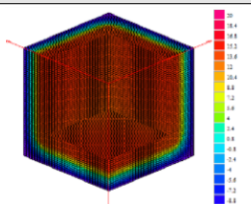
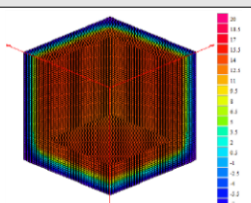
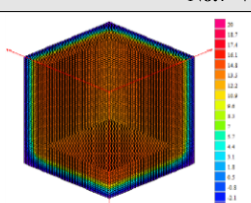
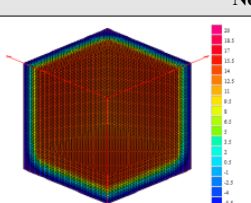
Building part of Thermal Resistance	Interior Surface Resistance [m <sup>2</sup> ·K/W]	Exterior Surface Resistance [m <sup>2</sup> ·K/W]	
		Indirect	Direct
Vertical Envelope of Living Room (Wall, Windows, Door)	0.11	0.11	0.043
Living Room Slab of Lowest Floor	0.086	0.15	0.043
Living Room Ceiling or Roof of Top Floor	0.086	0.086	0.043
Apartment Slab between thermal area	0.086(0.1)	-	-

Table 8. Surface Resistance based on Interior situation

Building part of Thermal Resistance	Internal Surface Resistance [m <sup>2</sup> ·K/W]	Source
Curtain	0.25	DIN 4108-2, EN ISO 13788
General furniture	0.5	DIN 4108-8
Built-In Closet	1.00	DIN 4108-8
Bottom side of Wall	0.35	SIA 180

Table 9. 3D Thermal Simulation Result

No.1 Chongjin, Hamgyongbukdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.172
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-8.58
	Corner Surface Temperature[℃]	12.62

No.2 Hamhung, Hamgyongnamdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.191
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-6.75
	Corner Surface Temperature[℃]	12.69
No.3 Hyesan, Yanggangdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.106
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-21.18
	Corner Surface Temperature[℃]	12.61
No.4 Ganggye, Jagangdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.124
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-17.62
	Corner Surface Temperature[℃]	12.63
No.5 Guseong, Pyeonganbukdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.150
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-11.55
	Corner Surface Temperature[℃]	12.68
No.6 Suncheon, Pyongannamdo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.163
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-9.62
	Corner Surface Temperature[℃]	12.67
No.7 Wonsan, Gangwondo		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.207
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-5.51
	Corner Surface Temperature[℃]	12.61
No.8 Pyongyang		
	U-Value[W/m <sup>2</sup> K]	0.161
	Indoor Temperature[℃]	20
	Outdoor Temperature[℃]	-9.86
	Corner Surface Temperature[℃]	12.67

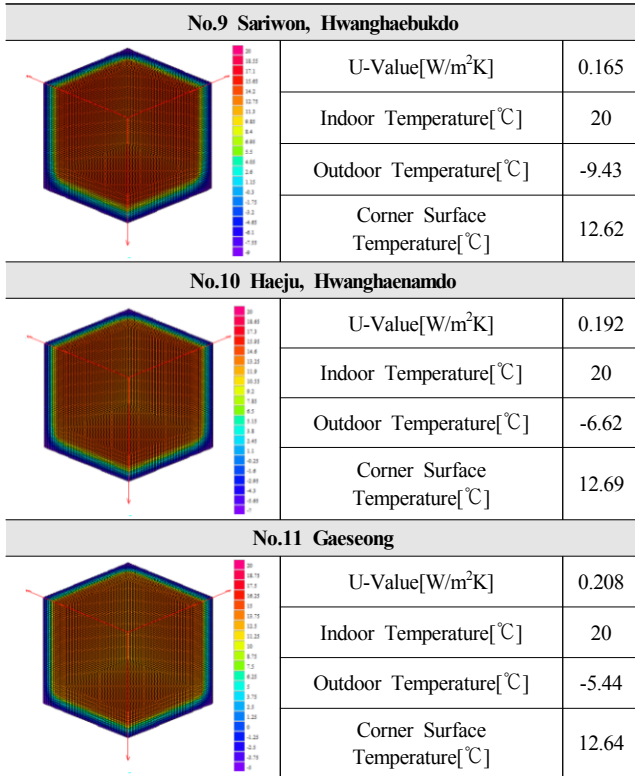


Table 10. Characteristic of Insulation from Korea Standard

Type of Insulation	Thermal Conductivity (W/mK)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	
A	XPS-S	0.027	35
B	XPS-1	0.028	30
C	XPS-2	0.029	25
D	XPS-3	0.031	20
E	EPS1-1	0.036	30
F	EPS1-2	0.037	25
G	EPS1-3	0.04	20
H	EPS1-4	0.043	15
I	EPS2-1	0.031	30
J	EPS2-2	0.032	25
K	EPS2-3	0.033	20
L	EPS2-4	0.034	15
M	PUR BOARD 1-1	0.024	45
N	PUR BOARD 1-2	0.024	35
O	PUR BOARD 1-4	0.026	25
P	PUR BOARD 2-1	0.023	45
Q	PUR BOARD 2-2	0.023	35
R	PUR BOARD 2-4	0.028	25
S	Rockwool(felt)	0.038	40~70
T	Rockwool1	0.037	71~100
U	Rockwool2	0.036	101~160
V	Rockwool3	0.038	161~300
W	Glasswool 64K	0.035	64
X	Glasswool 48K	0.036	48
Y	Glasswool 32K	0.037	32
Z	Glasswool 24K	0.038	24

### 4.3 북한 지역별 외벽 단열 성능기준(안)

본 연구에서는 연중 가장 추운 6일 기후와 국내의 기준을 차용한 3차원 전열해석을 통하여 DIN4108-2의 클레이저법을 만족시키는 외벽의 열관류율을 지역별로 제시하였다(Table 9. 참고). 이를 효과

Table 11. Surface Resistance based on Interior situation

Type of Insulation	Thickness Demand [mm]										
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
U-Value (W/m <sup>2</sup> K)	0.172	0.191	0.106	0.124	0.150	0.163	0.207	0.161	0.165	0.192	0.208
A	151	135	249	212	174	160	125	162	125	135	124
B	157	140	258	220	181	166	129	168	129	140	129
C	162	146	267	228	187	172	134	174	134	145	133
D	173	156	286	243	200	183	143	186	143	155	142
E	201	181	332	282	232	213	166	216	166	180	165
F	207	186	341	290	239	219	171	222	171	185	170
G	224	201	369	314	258	237	185	240	185	200	184
H	241	216	396	337	277	254	198	258	198	215	197
I	173	156	286	243	200	183	143	186	143	155	142
J	179	161	295	251	206	189	148	192	148	160	147
K	185	166	304	259	213	195	152	198	152	165	151
L	190	171	313	267	219	201	157	204	157	170	156
M	134	120	221	188	155	142	111	144	111	120	110
N	134	120	221	188	155	142	111	144	111	120	110
O	145	130	240	204	168	154	120	156	120	130	119
P	129	115	212	180	148	136	106	138	106	115	106
Q	129	115	212	180	148	136	106	138	106	115	106
R	157	140	258	220	181	166	129	168	129	140	129
S	213	191	350	298	245	225	175	228	175	190	174
T	207	186	341	290	239	219	171	222	171	185	170
U	201	181	332	282	232	213	166	216	166	180	165
V	213	191	350	298	245	225	175	228	175	190	174
W	196	176	323	275	226	207	161	210	161	175	161
X	201	181	332	282	232	213	166	216	166	180	165
Y	207	186	341	290	239	219	171	222	171	185	170
Z	213	191	350	298	245	225	175	228	175	190	174

적으로 적용하기 위하여 지역별, 단열재 종류별 최소 단열 두께를 함께 제시한다(Table 11. 참고). 여기서 제시되어 있는 단열재의 종류는 KS기준을 인용한 것으로 압출법 보온판, 비드법 보온판, 경질 폴리우레탄 보드, 압면, 유리섬유 보온판으로 단열 종류를 분류하였다. KS에서는 제품들로 호수에 따라 열전도율과 밀도가 차등적으로 제품화되어 있으며(Table 10. 참고), 각 단열재 종류별로 지역별 외벽 단열 성능 기준(안)을 Table 11.과 같이 제안한다.

### 5. 결론

국내의 경우 건축법시행규칙 적용 이후 지속적으로 외벽의 단열 성능을 향상시켜왔다. 현재에는 에너지 절약 설계기준의 경우 패시브 하우스 수준의 외벽의 열관류율을 제시하고 있으며, 그 외 지역에서도 비교적 높은 수준의 단열기준을 제시하고 있다. 외벽의 단열 성능뿐만 아니라 창호 성능을 비롯한 다양한 기준들이 고효율에너지기자재 인증제도 등을 통하여 전반적인 건축 자재 등의 성능을 관리하고 있다. 이에 반하여 같은 북한의 경우 일괄적인 규제들로 일반화되어 있는 실정이다. 이에 본 연구에서는 북한 기후를 시뮬레이션하여 지역별 쾌적성을 확보할 수 있는 최소한의 단열기준을 차등적으로 제안하였으며 그 도출 과정은 다음과 같다.

첫 번째, 북한의 11개 지역에 대한 기후 데이터를 시뮬레이션 소프트웨어를 활용하여 도출하였고 이러한 데이터를 활용하여 주거 건축물 쾌적성에 영향을 줄 수 있는 최소기간에 대한 외부 온도 조건을 지역별로 분류하였다.

두 번째, 국내 건축법규에서는 제시하는 실외 표면열전달저항값과 국내에서 제시하고 있지 않은 사용 용도별 실내측 표면전달저항 부분의 국제표준 및 유럽의 선진국 기준의 저항값을 시뮬레이션 조건에 반영하였다.

세 번째, 1차원적인 분석뿐만 아니라 기하학적인 열교를 현상을 반영한 3차원 전열해석과정을 통하여 건물 우각부에 대한 안정성을 확보할 수 있는 외벽의 단열 성능 및 단열제 두께를 제안하였다.

이 연구과정에서 도출된 결과는 최종 결과는 4.2와 같이 열관류율로 나타난 기준(안)과 4.3과 같이 개별 단열제의 두께로 표현되는 기준(안)으로 제시하였다.

이러한 기준안은 북한의 녹색건축에 있어서 향후 일률적인 설계 가이드라인이 아닌, 지역별에 적절한 외벽 기준을 제시함으로써 에너지 사용 저감 및 비용 절감 등의 효과가 있을 것으로 기대한다. 또한 이러한 기준안의 제시는 국제적 흐름에 맞는 친환경 건축의 기준으로 나아갈 수 있는 기초자료로서 활용할 수 있을 것이다. 향후 북한의 지역별 기후 조건을 기반으로 창호, 환기장치 등의 추가적인 성능 기준을 확대할 뿐만 아니라 비주거 건축물에서도 추가적인 연구를 할 필요가 있다.

## Acknowledgement

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원으로 수행하였습니다(20AUDP-B151639-02).

## Reference

- [1] 칸, 커버스토리, <http://www.kham.kr/news/article.html?no=7033>, 2020.01.20. // (Kham, Coverstory, <http://www.kham.kr/news/article.html?no=7033>, 2020.01.20.)
- [2] 국토부, 통일대비 북한 건축산업 인프라 개선을 위한 기술개발 기획 최종보고서; 2016. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Planning of technical development for improvement of Building Industry Infrastructure in North Korea, 2015.)
- [3] LH, 2018년 북한 건설·개발 동향; 2018. // (Trend and Status of Construction and Infrastructure in North Korea, 2018.)
- [4] 이용택, 통일대비 남북 건축문화 교류를 위한 준비, 한국: 대한건축학회지, 제63권 제2호, 2019, pp.10-11. // (Y.T. Lee., Preparation for Inter-Korean Architectural Culture Exchange Against Reunification, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 63(2), 2019, pp.10-11.)
- [5] 이종석, 한승대, 통일대비 북한의 인구이동 대응방안 연구: 주거와 인프라 공급을 중심으로, 한국: 인문사회21, 제9권 제5호, 2018, pp.1457-1472. // (J.S. Lee, S.D. Han., Study of Countermeasures for Population Movement in North Korea to Get Ready for Reunification: Focused on the Provision of Housing and Infrastructure, Korea: Journal of Humanities and Social science 21, 9(4), 2018, pp.1457-1472.)
- [6] 김명지, 신두식, 안병욱, 통일대비 북한 난민 수용을 위한 임시주거시설 공급 방안, 한국: 대한건축학회지, 제37권 제2호, 2017, pp.1090-1091. // (M.J. Kim., D.S. Shin., B.W. Ahn., A Study on the Supply Plan of Temporary Housing Facilities for North Korean Refugees in Preparation for Unification of Korea, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 37(2), 2017, pp.1090-1091.)
- [7] 신두식, 김명지, 안병욱, 통일대비 주거공급을 위한 건축관련 법제 정비 방향 연구, 한국: 대한건축학회지, 제37권 제2호, 2017, pp.1092-1093. // (D.S. Shin., M.J. Kim., B.W. Ahn., A Study on Critical Review of 'About the Architecture' of North Korea, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 37(2), 2017, pp.1092-1093.)
- [8] 신규철, 북한의 '건축예술론'에 대한 비평적 연구, 한국: 대한건축학회지, 제18권, 제2호, 2016, pp.17-26. // (K.C. Shin., A Study on Critical Review of 'About the Architecture' of North Korea, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 18(2), 2016, pp.17-26.)
- [9] 조훈희, 김창원, 통일대비 북한건축 인프라 개선의 실효성 확보를 위한 사업추진 모델, 한국: 건설관리학회지, 제17권 제2호, 2016, pp.27-28. // (H.H. Jo., C.W. Kim., A Project Promotion Model for the Effective Improvement of Architectural Infrastructure in North Korea in Preparation for Unification, Korea: Journal of Construction Engineering and Management, 17(2), 2016, pp.27-28.)
- [10] 이정석, 김미나, 통일대비 한반도 건설 인프라 구축을 위한 전략적 방안, 한국: 대한건축학회지, 제35권, 제1호, 2015, pp.489-490. // (J.S. Lee., M.N. Kim., The Strategy for Establishment of Construction Infrastructure to Preparing Unification in the Korean Peninsula, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 35(1), 2015, pp.489-490.)
- [11] 오상근, 한국건축계의 진단과 방안모색: 통일에 대비한 국토개발 구상과 건축계의 역할, 한국: 대한건축학회지, 제42권, 제1호, 1998, pp.19-25. // (S.K. Oh., The Role of Architects Group in National Development Plans Preparing for the Reunification of Korea, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 42(1), 1998, pp.19-25.)
- [12] 김인용, 전한중, 기상데이터 종류별 건물 에너지 성능 분석 결과에 미치는 영향에 관한 연구, 한국: 대한건축학회지, 제29권, 제3호, 2013, pp.317-326. // (E.Y. Kim., H.J. Jun., A Study on Influence of Type of Weather Data on Results of Building Energy Performance Simulation, Korea: Journal of Architectural Institute of Korea, 29(3), 2013, pp.317-326.)
- [13] Meteorom, Meteorom Global Meteorological Database version7, English, 2019.
- [14] The Korean Solar Energy Society, <http://www.kses.re.kr/index.php>, 2020.01.20.
- [15] 장성진, 유지원, 강석구, 김수민, 국내 기후조건을 고려한 CLT 목조주택의 건물에너지 요구량 평가, 한국: 한국생활환경학회지, 제25권, 제6호, 2018, pp.671-678. // (S.J. Jang., J.W. Yoo., S.G. Kang., S.M. Kim., Evaluation of the Building Energy Demands of the CLT Wooden Houses according to the Korean Climatic Conditions, Korea: Journal of The Korean Society of Living Environmental System, 25(6), 2018, pp.671-678.)
- [16] 이상혁, 권오현, 이경수, 기상조건, 방위각 및 경사각에 따른 태양광발전시스템 출력 분석, 한국: 한국태양광발전학회지, 제5권, 제1호, 2017, pp.38-42. // (S.H. Lee., O.H. Kwon., K.S. Lee., PV System Output Anlysis Based on Weather Conditions, Azimuth, and Tilt Angle, Korea: Journal of Korea Photovoltaic Society, 5(1), 2017, pp.38-42.)
- [17] 유복중, 이주, 철도분야 태양광 발전 적용 확대를 위한 설계 단계에서의 태양광 발전량 예측 연구, 한국: 한국철도학회, 제20권, 제2호, 2017, pp.182-189. // (B.J. Yoo., J. Lee., A Study on Photovoltaic Power Generation Amount Forecast at Design Stage for Extended Application in the Field of Railways, 20(2), 2017, pp.182-189.)
- [18] 조미영, 표준기상자료에 따른 건물 유형별 에너지 요구량 민감도 분석 연구, 한국: 한밭대학교 석사학위논문, 2017.08. // (M.Y. Jo., A Study on the Energy Demand Sensitivity Analysis of Building Types according to Typical Climatic Data, Korea: Master Thesis, University of Hanbat, 2017.08.)
- [19] 김법진, 태양광발전시스템 설치유형에 따른 성능평가 프로그램 개발, 한국: 대전대학교 석사학위논문, 2015.02. // (B.J. Kim., A Study on the Development of Performance Evaluation Program according to the Installation Type of Photovoltaic System, Korea: Master Thesis, University of Daejeon, 2015.02.)
- [20] 이재덕, Perez model을 적용한 태양광 시스템별 최적 설치 및 최대 발전량 분석, 한국: 성균관대학교 석사학위논문, 2012.02. // (J.D. Lee., (An) Analysis of optimal installation condition and maximum power generation of photovoltaic systems applying perez, Korea: Master Thesis, University of Sungkyunkwan, 2012.02.)
- [21] DIN 4108-2, Wärmeschutz and Energie-Einsparung in Gebauden, Berlin, 2013.
- [22] 문현준, 윤영란, 박진우, 임미정, 단일 및 복합 건축 자재에서의 곰팡이 발아 및 성장에 관한 실험연구, 한국: 한국건축친환경설비학회지, 제2권 제4호, 2008, pp.39-44. // (H.J. Moon., Y.R. Yoon., J.W. Park., M.J. Lim., An Experimental Study on Mold Germination and Growth Rates on Single and Multi-layers Building Materials, Korea: Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2(4), 2008, pp.39-44.)