



## 단독주택의 실내습도 발생량 추산 모델 개발

### Implementation of an Estimation Model for Internal Humidity Sources towards Single Residential Units

김태룡\* · 한승훈\*\*

Kim, Tae-Ryong\* · Han, Seung-Hoon\*\*

\* Passive House Institute Korea, South Korea (ktl1987@naver.com)

\*\* Corresponding Author, School of Architecture, Chonnam National University, South Korea (hshoon@jnu.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** The recent buildings are needed to maintain a certain level of comfortable temperature by using lower energies without being affected by the surrounding environment. This requirement can show serious defects on the past building because airtightness and insulation performance would be weaker than before by new standard or guideline. It is necessary to analyze indoor temperature and humidity quantitatively on those buildings to adjust environmental needs at current factional and/or economical levels. The purpose of this study is, therefore, to measure the amount of internal humidity sources from present residential facilities and to estimate its original humidity-proof potentials reversely. **Method:** This study has selected seven detached or single residential units to measure internal humidity sources first. The selected houses are verified to be able to protect indoor humidity from ambient climate. Then, temperature and humidity were measured in those houses where real residents are living. The measured results were calibrated finally by the formula defined by ISO 13790 and various algorithms integrated in Energy#. **Result:** The suggested model could provide the most appropriate method for energy simulation that could fit to Korean own environmental properties as measured data have shown different values compared with the foreign standards.

© 2018 KIEAE Journal

#### KEYWORD

실내온습환경  
습도발생량  
추산 모델  
단독주택Interior Spatial Environment  
Internal Humidity Sources  
Estimation Model  
Single Residential Units

#### ACCEPTANCE INFO

Received Aug 10, 2018

Final revision received Sep 28, 2018

Accepted Oct 2, 2018

## 1. 서론

최근 건축물에서 소비하는 에너지에 대한 인식이 개선되면서 고효율 건물 나아가 제로에너지 건물에 대한 시장 요구가 늘고 있다. 이에 발맞추어 국가에서는 건축물에너지 효율등급을 도입하고 제로에너지 등급인증 보급에 힘쓰고 있다.

이러한 저에너지 건물의 구현을 위해서는 우선적으로 건물이 어느 정도의 에너지를 사용하고 있는지에 대한 분석이 선행되어야 한다. 현재 우리나라에서는 에너지효율등급의 인증을 ISO 13790기반의 국제표준을 사용한 에너지해석소프트웨어를 이에 활용하고 있다. ISO13790은 EN기준이 국제표준으로 발전된 것으로 EN기준이 되기 앞서서는 DIN기준을 그 근간에 두고 있다. 이에 내부 수식과 상수들 중 일부는 한국과는 차이가 있을수 있다. 이러한 인용의 흔적은 에너지효율등급의 용도프로필과 DIN18599의 준별 프로필을 비교해보면 확인할 수 있다.

한국은 유럽 등 다른 지역의 나라들과 상이한 특징을 보인다. 최근 지구 온난화로 인해 지구 전역의 온습환경이 기반 조건에 불리하게 작용하는 등 보편적 현상을 보이는 측면도 있지만, 본질적으로 지

역별 미시기후 요인과 국부 환경 요소 등에 따라 그 특징적 기후 양상이 결정되기 마련이다 [1]. Fig. 1.의 Fraunhofer의 서울과 독일의 일사량 비교에서 보이는 것처럼 한국의 기후조건은 여름철은 더욱 고온 다습한 특성을 보이고 겨울철은 상대적으로 저온 건조한 편이다. 온도, 습도뿐만 아니라 일사량, 적운, 겨울철 최저기온, 여름철 최고기온 등 다양한 기후조건에 추이에서도 차이점을 보인다 [2].



Fig. 1. Comparisons of Annual Humidity and Temperature between Holzkirchen, Germany and Seoul, Korea (Source: Fraunhofer, IBP)

생활환경 측면에서도 유럽은 전기 건조기를 활용하는 빨래 건조 문화를 가지고 있는 반면, 한국은 아직 실내건조가 일반적이며, 조

리 시 발생하는 습도 조절 측면에서도 많은 차이를 보인다. 예를 들면, 주방에서 발생하는 습도를 오븐을 통해 배출하는 외국의 경우와 달리 조림과 국을 즐기는 주방문화에서 많은 양의 습기가 발생하여 실내 환경에 영향을 미치게 된다 [3]. 이와 같이 외부 기후 조건과 생활환경의 차이는 선진국 중심의 환경성능 기준과 조건을 여과 없이 국내용으로 수용하기 어렵다는 사실을 말해주고 있으며, 매년 강화되는 단열 관련 법 제도 속에서 현재는 문제 시 되지 않았던 실내환경의 조건도 추후 예상치 못한 열악한 생활환경 요인으로 인한 하자로 이어질 수 있는 가능성이 충분하다 [4].

이에 이 연구에서는 한국 주거시설 중 단독주택에서의 온습환경을 모니터링하고, 실내에서 생활하면서 발생했던 습도 발생량과 온습환경 변화에 대한 추산 모델 개발과 적용을 통해 하자 예측 및 분석, 습기거동(Hygrothermal) 분석, 에너지 성능 분석과 설비 부하 분석 등에 있어 주요 변수로 산정할 수 있는 근거 데이터를 제시하는 것에 목적이다.

국내 주거시설 내에서 거주자가 생활하면서 발생하는 습도량을 추산하기 위한 모델 개발을 위해 먼저 실내에서 발생하는 습도를 측정할 수 있는 조건과 기준을 설정하고, 기준에 부합하는 대상지의 환경을 실측 한 다음 실측데이터를 보정하여 그 결과치를 국외기준과 비교해 검증하고자 한다. 이 과정에서 실측치의 신뢰도를 높일 수 있는 대상지 선정 원칙을 설정하고, 실제 거주자가 상주하는 대상지를 선정하여 실내외 환경 실측을 진행하였다.

## 2. 대상지 선정 및 모니터링 방법

### 2.1. 모니터링 대상지 선정의 원칙

#### 1) 대상지 선정 절차

국내 실정이 반영된 실내습도량을 추산하기 위하여 실측 대상지 선정 원칙을 수립했다. 첫째, 외단열 구성의 단독주택을 대상으로 하였다. 내단열의 경우 내부 열교 때문에 곰팡이 혹은 결로가 발생할 우려가 있으며, 실내에서 발생하는 습도가 모두 공기 중에 분포하고 있어야 정확한 결과치가 측정되거나 모니터링 대상지 내부 보이지 않는 곳의 결로점 형성 가능성이 존재하면 측정된 실내 습도값의 신뢰도에 영향을 줄 수 있기 때문에 대상지로 부적합하다 [5].

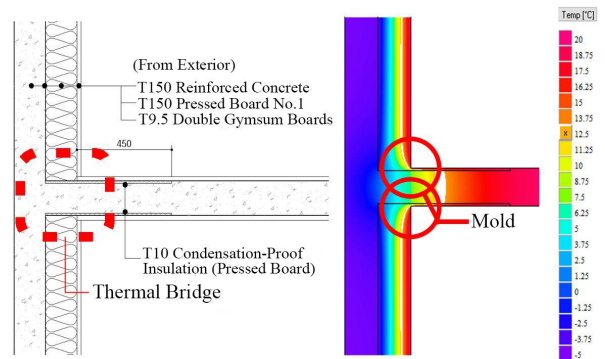
둘째, 실내에서 발생하는 습도가 건물 외부로 빠져 나가지 않는 기밀한 성능을 갖추고 있어야 한다. 발생된 습기가 외부로 모두 빠져나간다면 정상적인 실험체로 보기 어렵기 때문이다 [6]. 마지막으로, 적절한 환기장치를 갖춰야 한다. 실제 거주자가 상주하는 실험체에서는 원활한 산소공급이 요구되기 때문에 재실자의 쾌적과 건강을 위해 환기 장치가 구비되어 있어야 하며, 이때 측정값 보정을 위해 환기장치의 습도 교환 성능값과 건물전체에 공급되는 정확한 환기풍량이 요구된다 [7], [8].

이러한 대상지가 갖추어야 할 요건을 요약하면 아래와 같다.

- ① 실측대상지 내의 습도가 외부로 쉽게 유출되어서는 안된다 [9]. (실험체가 기밀하게 구축되어야 한다)
- ② 실측대상지 내에 어느곳에도 결로점이 있어서는 안된다 [10].
- ③ 환기장치가 설치된다면 정확한 성능값과 건물에 공급되는 환

기량이 있어야 한다 [11].

Fig. 2.는 내단열구조의 바닥과 외벽의 접합부에 대해 전열해석을 수행한 것이다. 국내 주거환경에서 아파트가 절대적 다수를 차지하고 있는 상황이나, 내단열인 구조체에서 2번 요건을 만족하는 아파트는 찾기 어렵다 [12], [13]. 이 해석에서 보여지는 것처럼 내단열 구조는 근본적으로 단열의 누락부위가 있어 표면온도가 안정적으로 분석되지 않는다. 이러한 구조는 실내에서 생활 중 발생하는 습도 일부가 표면 결로점에서 액화되므로 대기 중의 온습도를 측정하여 실내습도 발생량을 추정하고자 하는 이 연구의 결과 도출에 근본적인 오류를 유발한다 [1], [14]. 뿐만 아니라 거주자의 건강에도 부정적인 영향을 줄 수 있다. 이에 이 연구에서는 이상의 3가지 원칙에 부합하는 대상지를 선정하여 실내외 온습환경을 실측하였다.



### 2.2. 대상지 선정 및 검증 방법

#### 1) 대상지 선정

국내외에서 수행하는 건축물 인증제도 중 패시브하우스 인증에서는 건축물 기밀성능 기준값, 환기장치의 TAB (Testing, Adjusting and Balancing) 설정 보고서 검토 결과와 열교 발생 부위에 대한 점형 및 선형열교 기준값 등을 확보하고 있기 때문에 이 연구에서 설정한 대상지 원칙 3가지, 즉 기밀, 단열, 환기 성능을 검증할 수 있는 데이터로서 적용가능하다. 패시브건축물 인증 과정에서 수행하는 내용과 이용할 수 있는 대표적인 데이터 그룹은 다음과 같다.

- ① 부위별 열교 해석
- ② 벽체온습도 안정성 검토
- ③ 기밀테스트 (B-type, A-type)
- ④ 환기장치 풍량 설정 (TAB)
- ⑤ 건축물 에너지 분석

인증을 취득한 국내주거시설 중 단독주택은 2017년 기준 대략 150채 정도이며, 현행법에 의한 단열규정보다 높은 단열수준 및 외단열을 기본으로 적용하고 있다. 이는 고단열 성능과 외단열 적용시 같은 구조에서 열교가 발생하더라도 표면온도 측면에서 강점을 가지기 때문이다.

또한 인증과정에서 고효율 환기장치의 적용과 TAB 작업이 완료되어 있고 완공 후 기밀테스트를 수행하기 때문에 이 연구에서 설정한 대상지 선정기준의 요구사항에 모두 부합한다고 볼 수 있다. 이에 대상지 선정을 국내의 패시브건축물 인증을 취득한 주택 중 보편적

인 가족 구성으로 여겨지는 2~4인 거주 주택을 대상으로 설정하였고 건축주의 협조와 승인 아래 실제 거주하고 있는 주택 7채에 대해서 실내의 온습환경 실측을 진행하였다.

Table 1. Design Overview of Testbed Houses for Monitoring

Location	Structure	Story	Performance (L/m <sup>2</sup> a)	Household Number	Area (m <sup>2</sup> )	
1	Pangyo	Concrete	B1-F2	2.6	1	97.76
2	Hwacheon	Wooden	F2	3.0	2	59.51
3	Icheon#1	Steel	F2	3.3	1	59.56
4	Icheon#2	Wooden	F1	4.8	1	98.1
5	Daejeon#1	Wooden	B1-F2	1.3	1	130.4
6	Daejeon#2	Wooden	F2	3.0	1	96.45
7	Hwaseong	Wooden	F2	2.7	1	84.73

2) 대상지 모니터링

선정 대상지에서 실내와 실외에서 온도 및 습도를 모니터링하였으며, 실제 거주자가 생활하고 있는 환경에 대해 실측하였다. 대부분의 온습도 실측은 거실에서 측정하였고 24시간 가동되는 환기장치기가 있어 실내의 대기가 원활하게 순환되었으며 대부분 1개월 이상 장기간 모니터링을 수행하였기 때문에 실내 공기질의 상태는 이상기체로 가정하였다. 온도와 습도는 1시간 간격으로 측정되었다.

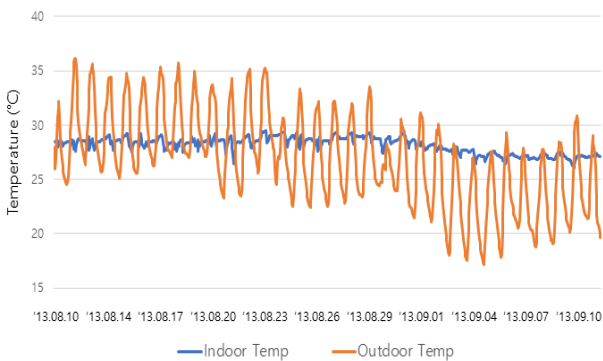


Fig. 3. Sample Analysis Graph for Temperature Monitoring of Indoor and outdoor Spaces (Pangyo)

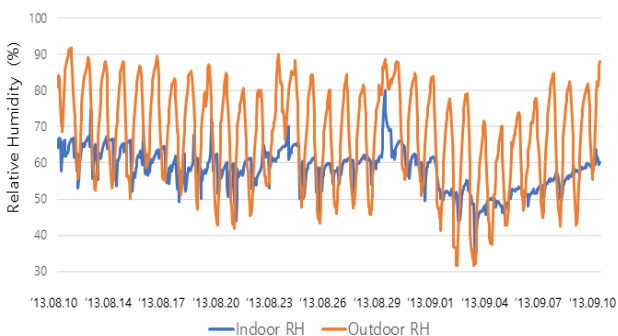


Fig. 4. Sample Analysis Graph for Humidity Monitoring of Indoor and outdoor Spaces (Pangyo)

Fig. 3.과 Fig. 4.는 판교 소재 단독주택의 실내외 모니터링 결과 예시이다. 외기 습도의 경우 30%에서 90%까지 하루 변동 폭이 매우 넓은데 이는 온도 변화에 따른 상대습도의 변화이다. 실제로 대기 중에 함유된 절대량, 즉 절대습도량은 크게 변하지 않지만 상대습도로 환산하였을시 그 변화의 폭이 온도변화량에 민감하게 반응하기에 위와 같은 추이를 보이는 것으로 분석된다. 상기 예시와 같이 실내외 온습도에 대해 Table 2.의 모니터링 기간 동안 실측을 진행하였으며 기밀성능은 Bloowdoor Test를 통한 실측값을 활용하였고 실내 풍량은 T.A.B 레포트르 기준으로 적용하였다.

Table 2. Test Result and Monitoring Period of House

Location	Airtightness (n50)	Total Air Flow of Return and Supply (CMH)	Monitoring Period	
1	Pangyo	0.56	140	13.08.10 ~ 13.09.10
2	Hwacheon	0.7	200	13.08.06 ~ 13.08.09
3	Icheon#1	0.77	140	13.08.10 ~ 13.08.31
4	Icheon#2	0.67	120	16.07.01 ~ 16.08.10
5	Daejeon#1	0.4	180	15.07.01 ~ 15.08.31
6	Daejeon#2	0.81	150	15.07.01 ~ 15.08.20
7	Hwaseong	1.29	220	14.07.01 ~ 14.08.31

3. 습도발생량의 계산

3.1. 실측값의 보정

1) 절대습도 환산식

절대습도를 환산할 때는 온도, 습도, 대기압의 정보가 필요하나 실내에서 기압의 변화는 크지 않고 대기압의 정보를 상수화 하여 계산하는 수식이 있다. 이 수식은 Vaisala사에서 제안한 습도환산식 (Humidity Conversion Formulas)로 본 수식의 최대 오차율을 0.083%(Table 3.)로 명기하고 있다고 한다. 이는 본 연구에서 사용한 온습도계의 계측오차( Testo-174H의 계측오차값 : +\_0.5)보다 작은 변동으로 보이기에 대기압에 의한 습도변수는 상수를 활용한 계산으로 대체하였다 [15].

$$A = \frac{C \times P_w}{T} \quad (\text{g/m}^3) \dots\dots\dots (\text{식1}) [15]$$

- A : Relative Humidity (g/m<sup>3</sup>)
- C : Constant 2.16679 (gK/J)
- P<sub>w</sub> : Atmospheric Pressure (Pa)
- T : Atmospheric Temperature (°C)

$$P_{ws} = A \times 10^{\left(\frac{mT}{T+T_n}\right)} \quad (\text{hPa}) \dots\dots\dots (\text{식2}) [15]$$

- P<sub>ws</sub> : Saturation Vapor Pressure(hPa)
- T : Atmospheric Temperature (°C)
- A : Constant (See Table 3.)
- m : Constant (See Table 3.)
- T<sub>n</sub> : Constant (See Table 3.)

Table 3. Absolute Humidity Calculation Constant and Error Range

Condition	A	m	Tn	Maximum Error(%)	Temperature Range
Water	6.116441	7.591386	240.7263	0.083	-20 ~ +50°C
	6.004918	7.337936	229.3975	0.017	+50 ~ +100°C
	5.856548	7.277310	225.1033	0.003	+100 ~ +150°C
	6.002859	7.290361	227.1704	0.007	+150 ~ +200°C
	9.980622	7.388931	263.1239	0.395	+200 ~ +350°C
	6.089613	7.335020	230.3921	0.368	0 ~ +200°C
Ice	6.114742	9.778707	273.1466	0.052	-70 ~ 0°C

(식1)과 (식2)에서 필요로 하는 데이터는 상대습도와 실내온도 2가지이다. 이를 활용하면 실내와 실외의 절대습도량을 계산할 수 있으며 Fig. 5.와 같이 실내온습도를 통해 절대습도를 계산한다.

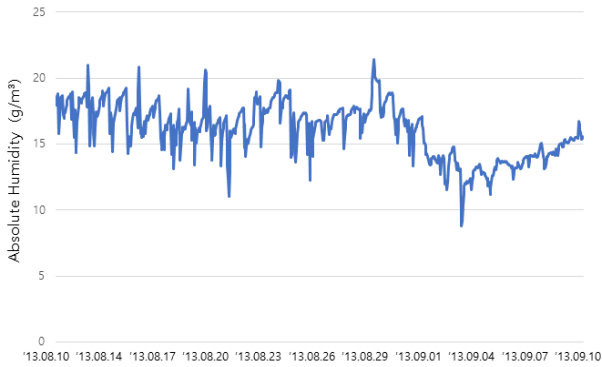


Fig. 5. Indoor Absolute Humidity per Hour

2) 실내습도 보정식

환기장치에 의한 절대습도 보정수식은 EN ISO 13790 및 정적 에너지 해석 소프트웨어 Energy#의 수식 중 환기에 의한 습도배출량을 계산하는 수식을 활용하였다. 그 수식에서는 환기장치의 열효율 (Em), 실내와 배출/유입되는 풍량(F), 그리고 기기의 습도회수율 (Hm) 값을 확보하면 환기장치를 통해 건축물 내부에 공급되는 절대습도량을 계산할 수 있으며 이를 정리하면 (식3)과 같다.

$$A_m = ((AH_{indoor} - AH_{outdoor}) \times H_m + AH_{outdoor} - AH_{indoor}) \times F \quad (식3)$$

- A<sub>m</sub> : Transferred Humidity by Ventilation Device
- AH<sub>indoor</sub> : Absolute Indoor Humidity
- AH<sub>outdoor</sub> : Absolute Outdoor Humidity
- H<sub>m</sub> : Recovery Ratio by Humidity Control Device
- F : Air Volume from Ventilation Device

상기 수식을 판교주택에 적용해 보았다. 판교주택의 경우, 열효율이 73.8%, 습도회수율이 60%인 환기장치로서 시간당 170CMH 배출 및 유입되는 설비가 적용되었다. 이를 외기 절대습도량과 내기 절대습도량을 기준으로 환기장치 성능을 고려하여 추산한 환기장치의 시간당 습도 손실량은 Fig. 6.과 같다.

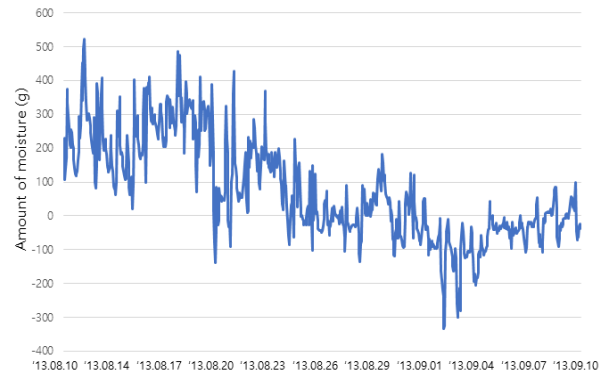


Fig. 6. Indoor Absolute Humidity Loss by Heat Recovery Ventilator

건축물의 기밀성능에 의해 환기장치를 거치지 않고 실내의 습도가 건물의 외부로 일부 빠져나가고 침투해 오는 현상이 발생하는데 이때 공기의 이동에 따라 실내에 영향을 주는 절대습도량 보정은 환기와 마찬가지로 EN ISO 13790 및 정적에너지 해석 소프트웨어 Energy#의 수식 중 다음 (식4)와 같이 기밀성능에 의한 에너지 손실량을 계산하는 수식의 항을 이동하여 활용하였다.

$$A_n = (AH_{indoor} \times V_{max} \times - AH_{outdoor} \times V_{max}) \times \frac{n50}{eff} \quad (식4)$$

- A<sub>n</sub> : Transferred Humidity by Airtightness
- AH<sub>indoor</sub> : Absolute Indoor Humidity
- AH<sub>outdoor</sub> : Absolute Outdoor Humidity
- V<sub>max</sub> : Indoor Volume for Airtightness
- n50 : Building Performance of Airtightness
- eff : Exposed Blocking Coefficient

(식4)에 사용된 적용계수는 ISO 13789:2007인 Thermal Performance of Buildings: Transmission and Ventilation Heat Transfer Coefficients에 명시되어 있는 내용을 기본적으로 적용하였다. 수식을 판교주택 실측값에 적용해 보면, 그 결과는 Fig. 7.에 나타난 바와 같다. 판교주택의 기밀성능 값은 0.56을 활용하였고 실내 체적은 기밀층까지의 내벽을 포함한 부피를 사용하였으며, 노출 차폐계수는 시골 지역의 노출된 값을 활용하였다.

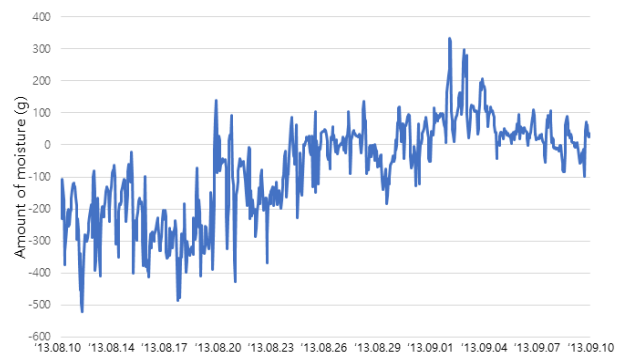


Fig. 7. Indoor Absolute Humidity Loss by Air Leakage and Heating Recovery Ventilator

건축물의 습도환경에 영향을 주는 2가지 요소를 절대습도량으로 복합 반영하면 실내의 절대습도의 추이를 분석할 수 있다. 평상시 침기 및 누기에 의한 실내 습도 변화량과 환기장치에 의하여 변화하는 습도량 분석 예시는 Fig. 8.과 같다.

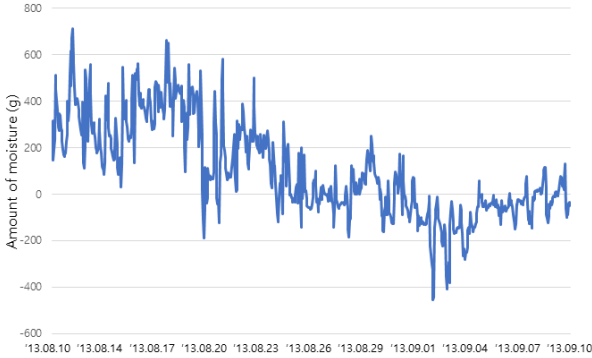


Fig. 8. Indoor Humidity Source per Hour

### 3.2. 습도발생량 계산

#### 1) 대상지별 실내습도 발생량 계산

위와 같은 방법으로 대상지 7개소의 습도발생량을 역산한 결과는 다음과 같다. 여기서 계산된 실내습도 발생량은 생활하며 발생하는 습도를 실측하고 환기장치와 건축의 기밀성능에 의해 변화하는 습도량을 보정하여 권장되는 여름철 실내온습조건(온도 26°C, 상대습도 60%)과의 차이를 계산한 것이다. 또한 분석기간은 모두 여름철 습도 발생량을 분석한 것이다.

Table 4. Estimated Results for Seven Testbed Houses

Estimated Results		
<b>1. Pangyo</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	28.5
	Average Outdoor Temperature(°C)	29.5
	Average Indoor Humidity(%)	64
	Average Outdoor Humidity(%)	85
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	16.0
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	17.4
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	157.3
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	3.02
<b>2. Hwacheon</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	28.1
	Average Outdoor Temperature(°C)	27.9
	Average Indoor Humidity(%)	77.8
	Average Outdoor Humidity(%)	85
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	21.4
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	22.7
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	274.8
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	9.4
<b>3. Icheon#1</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	27.8
	Average Outdoor Temperature(°C)	27.8

Estimated Results		
<b>3. Icheon#1</b>		
Measured Data	Average Indoor Humidity(%)	68.4
	Average Outdoor Humidity(%)	77.5
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	18.4
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	20.8
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	166.3
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	5.4
<b>4. Icheon#2</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	28.6
	Average Outdoor Temperature(°C)	28.6
	Average Indoor Humidity(%)	67.4
	Average Outdoor Humidity(%)	69.2
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	19.0
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	19.5
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	118
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	3.6
<b>5. Daejeon#1</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	25.8
	Average Outdoor Temperature(°C)	25.7
	Average Indoor Humidity(%)	73.3
	Average Outdoor Humidity(%)	77.2
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	17.7
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	18.3
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	140
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	4.3
<b>6. Daejeon#2</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	26.8
	Average Outdoor Temperature(°C)	27.1
	Average Indoor Humidity(%)	70
	Average Outdoor Humidity(%)	74.5
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	17.9
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	19
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	202.7
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	7.8
<b>7. Hwaseong</b>		
Measured Data	Average Indoor Temperature(°C)	27.3
	Average Outdoor Temperature(°C)	27.4
	Average Indoor Humidity(%)	67.7
	Average Outdoor Humidity(%)	69.7
Estimated Value	Average Indoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	17.7
	Average Outdoor Absolute Humidity (g/m <sup>3</sup> )	18.3
	Indoor Humidity Source Per Hour and Person (g/P·h)	120.7
	Indoor Humidity Source Per Hour and Area (g/m <sup>2</sup> ·h)	2.8

Fig. 9.에 나타난 바와 같이 실측된 실내습도 발생량의 평균값을 외국의 ISO 13790 기반 에너지해석 소프트웨어인 PHPP에서 사용하고 있는 상수값과 비교해 보면 건물 이용자 수 기준값을 48% 가량 차이이며 면적기준 발생량을 2배 이상 차이가 난다. 이는 국내의 생

활 문화와 매우 습한 외부기후조건의 영향인 것으로 예상되며, 이는 냉방부하의 증가와 외피구성에 따라 목조 및 철골구조의 벽체 내부 안정성 측면에 영향을 줄 수도 있을 것으로 예상된다.

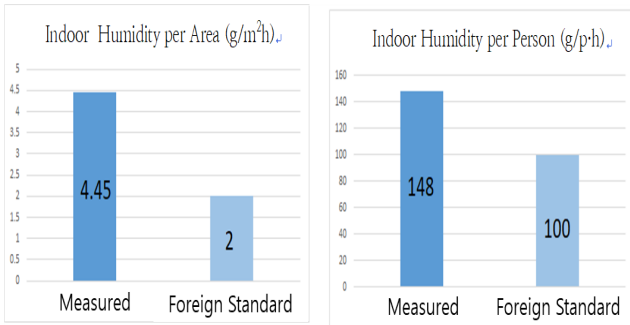


Fig. 9. Average Values for Measured Indoor Humidity Sources in Comparison to Foreign Standard Defined by PHPP

2) ISO 13790 기준 냉방 성능 및 부하 분석

에너지해석의 방법은 크게 동적, 정적해석 그리고 단일존, 다중존 해석으로 나뉜다. 일반적으로 동적해석은 다중존 해석 툴로 개발되는 것이 일반적이며 반대로 정적해석은 단일존 해석으로 많이 활용된다. 대표적인 다중존 동적해석의 툴로는 EnergyPlus, Ecotect, Transys등과 같은 소프트웨어가 있으며 단일존 정적해석의 툴로는 PHPP, Energy#과 같은 소프트웨어 있다. 다중존 해석은 다양한 변수의 입력과 통제가 가능하여 연구자 측면에서 활용되고 있으며 단일존 정적해석은 ISO 13790의 기준을 준용하는 소프트웨어들로 실무분야에서 많이 활용되고 있다. 이중 에너지효율등급인증에 활용되고 있는 ECO2와 같은 정적해석 단일존 분석 소프트웨어 중 제습부하 변수통제가 용이한 Energy#을 활용하여 제습 부하 측면의 변화량을 비교하였다.

Energy# 소프트웨어는 대표적인 스프레드시트인 Microsoft Office의 Excel 기반 에너지해석 프로그램으로서 그 분석 논리는 ISO 13790의 알고리즘에 기초를 두고 있다. 국내에서 개발된 소프트웨어로서 전기요금, 가스요금, 등유가격에 대한 현실적 정보가 반영되어 있어 우리 실정에 맞는 해석이 가능하다고 할 수 있다.

이에 Fig. 9.의 실험데이터를 활용하여 특정 지역(광주광역시)에 가상의 주택이 건축된다고 가정하고 에너지 시뮬레이션을 수행해 보았다. 이 주택의 면적은 30평가량 되며, 구조는 목구조이고 외벽의 열적 성능은 법적 기준을 만족한다. 창호는 일반 슬라이딩 창호가 설치되었으며, 열교환 환기장치 또한 설치되었다. 기타 시뮬레이션의 개요는 Table 5.와 같다.

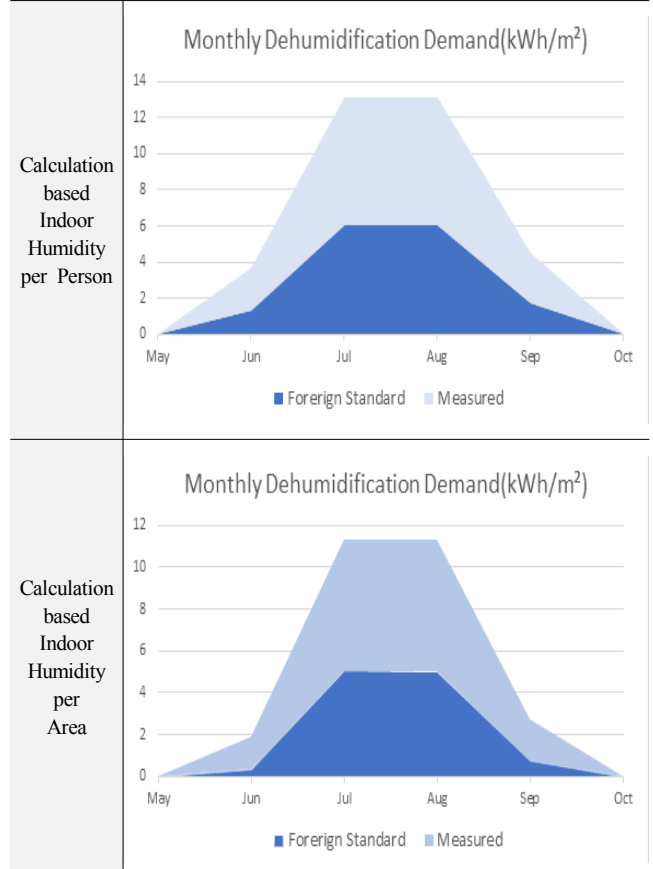
Table 6.에 정리된 에너지해석 결과를 보면, 냉방에너지 요구량 측면에서는 그 값이 증가하지 않는다. 이는 제습 부하는 증가하는 반면 건물 전체의 냉방에너지 요구량이 아주 크기 때문에 전체 비율상 그 결과값의 비율이 작아 보이는데 그 원인이 있다. 추후 법규 기준이 강화되어 건축물 에너지 성능이 고도화되면 단열, 기밀, 일사 등에 의한 냉방성능은 감소하더라도 궁극적으로 생활패턴이 변화하는 것은 아니기 때문에 제습부하가 그대로 유지되어 그 비중이 높아질 것으로 예상된다.

Table 5. Energy Simulation Input data

Location	Gwangju City	Treated Floor Area	99m <sup>2</sup>
Building Type	Residential	Story	1
Envelope Performance	0.26 W/m <sup>2</sup> K (Korean Building Code)	Window system	Normal Sliding Window
Airtightness (n50)	5	Ventilation Unit	Applied

Table 6. Simulation Result

Unit		Applied Foreign Indoor Humidity Source	Measured Indoor Humidity Source
Heating	Heating Energy Demand (kWh/m <sup>2</sup> )	51.72	51.72
	Heating Load (W/m <sup>2</sup> )	42.3	42.3
Cooling	Cooling Demand (kWh/m <sup>2</sup> )	53.02	56.87
	Cooling Load(W/m <sup>2</sup> )	28.2	29.5
	Dehumidification Load (W/m <sup>2</sup> )	15.2	19.1
Primary Energy (kWh/m <sup>2</sup> )		238	242

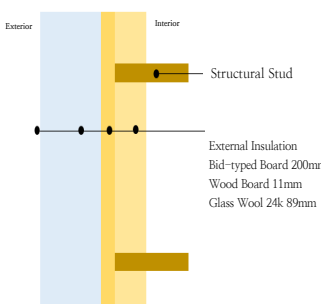


3) 실내습도부하에 따른 벽체 안정성 분석

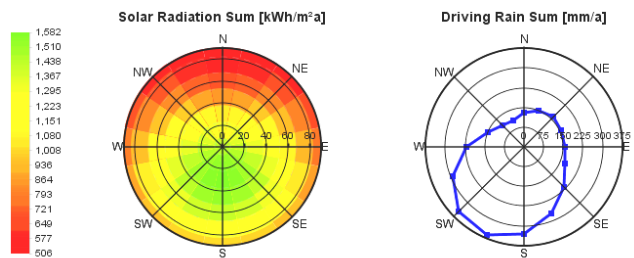
습기거동 분석을 위한 프로그램으로는 독일의 Fraunhofer 연구소에서 개발한 WUFI(Wärme und Feuchte Instationär)가 대표적이다. WUFI 프로그램은 DIN 4108 규정을 기준으로 하여 건축물 내열·습기환경에 대한 연차별 분석이 가능하며, WUFI Pro, 2D, Plus, Passive 및 Bio 등 다양한 버전으로 나누어져 있다 [2].

이 연구에서는 WUFI Pro 6.1 버전을 사용하여 광주광역시 지역 경량목구조의 유기질 외단열 구성에 대해 시뮬레이션하였다. 통상적으로 외부유기질 단열재와 내부 무기질 단열재의 복합 구성을 안정적으로 목구조에 적용하기 위해서는 두께 비율을 2:1 이상으로 하여 외부가 더 두껍게 구성해야 한다. 이는 외단열의 성능을 높이기 위한 목적으로 2:1 이상이 되어야 유기질과 무기질 단열재 접합면의 온도구배를 안정적으로 유지한다. 이 이론을 적용하여 외부 비드법 보온판 단열재 200mm와 내부 글라스울 24k 89mm를 적용한 벽체를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. 상기와 같은 벽체 구성을 시뮬레이션 한 이유는 최근 법적 외벽의 성능이 지속적으로 상향되면서 경량 목구조에서 구조목 사이에 글라스울을 충전하는 것만으로는 적법한 벽체구성을 만들기 어려워지면서 외부에 유기질 단열재의 추가 시공 사례가 늘고 있기 때문이다. 그 외 상세 설정은 Table 7.과 같다.

Table 7. Basic Settings for Hygrothermal Simulations

Composition of Envelope Layer	Climate		Gwangju City
	Thermal conductivity (W/mK)	EPS	0.04
		OSB	0.12
		Glasswool	0.032
	Driving Rain	1% of Rainfall	
	Azimuth	SW	
	Airtightness(q50)	1	
Simulation Period	2 year		

Climate Analysis



이 연구를 위해 WUFI 시뮬레이션으로부터 실측한 결과 값을 반영할 수 있는 항목은 실내습도 부하량이다. WUFI에서 제공하는 실내기후 데이터 중 EN 15026 기준은 외기에 따라 실내온도가 변화하는 기준값이다. 이 값의 설정 중 실측된 실내측 온습도 평균값과 유사한 High Moisture Load로 습도 부하량을 모델링에 적용하여 시

뮬레이션을 진행하였다.

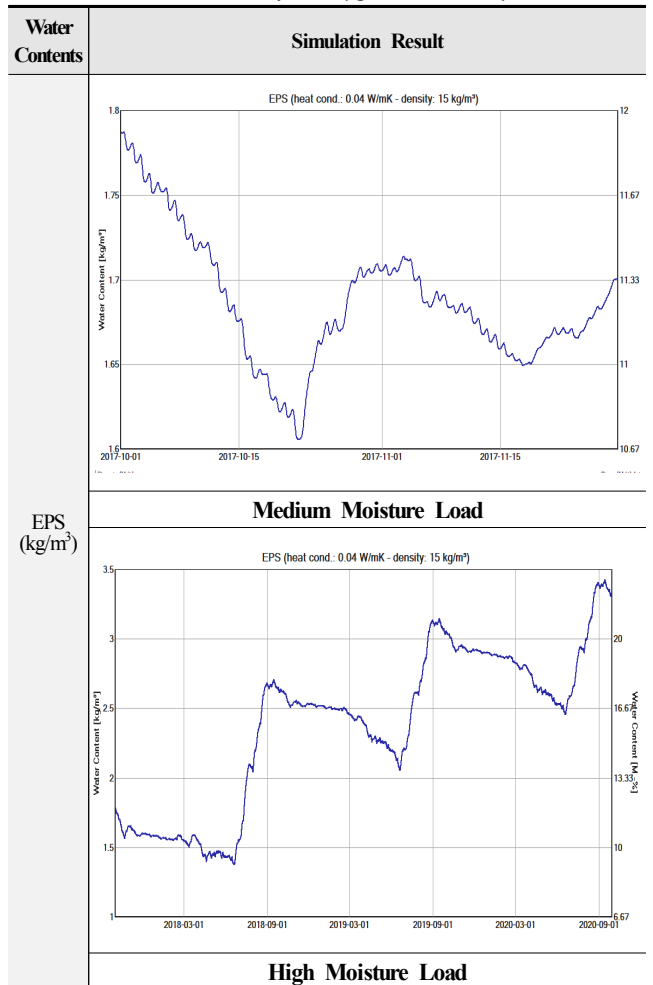
Table 8. Average Indoor Data Achieved by the Building Monitoring

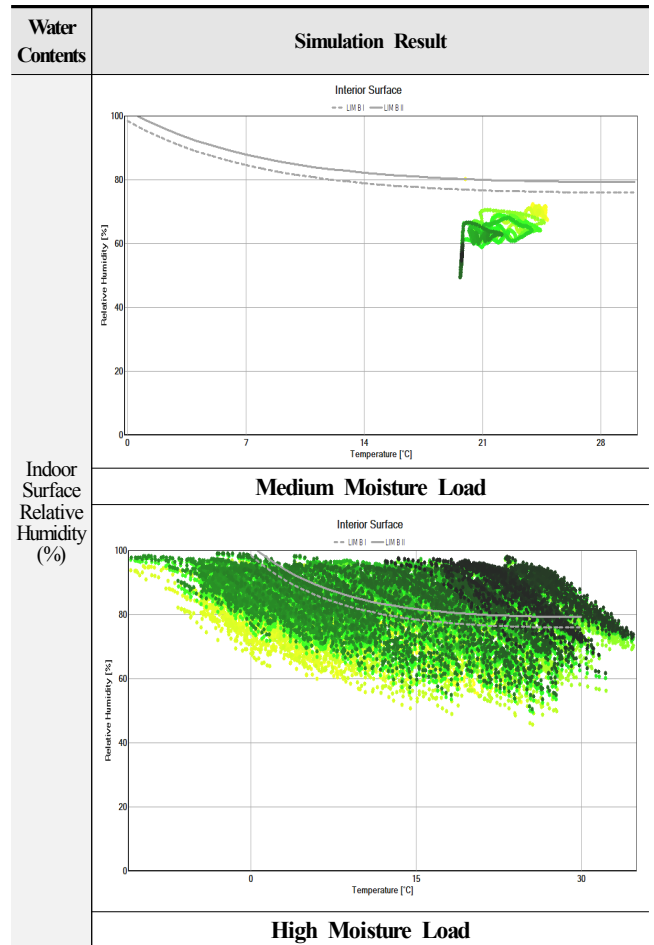
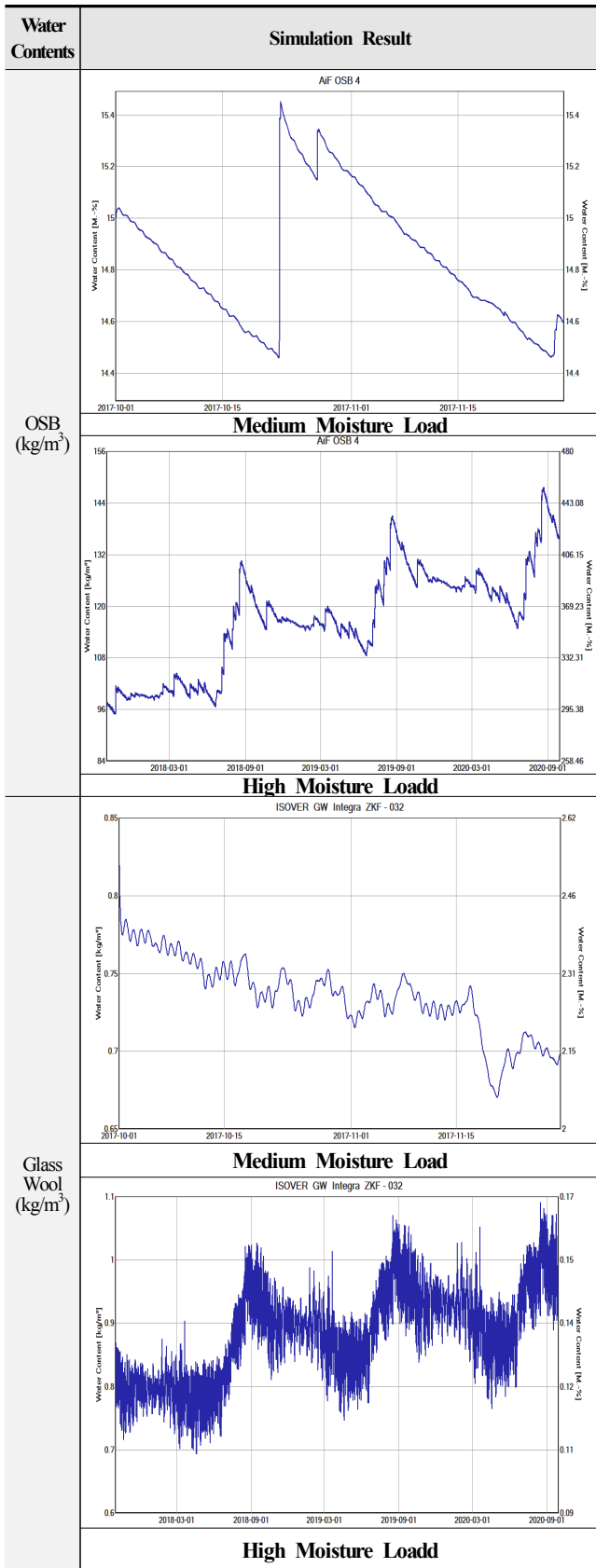
Measured Data	Pangyo	Hwacheon	Icheon#1	Icheon#2	Daejeon#1	Daejeon#2	Hwaseong
Average Indoor Temperature (°C)	28.5	28.1	27.8	28.6	25.8	26.8	27.3
Average Indoor Humidity (%)	64	77.8	68.4	67.4	73.3	70	67.7

Table 9. Application of Indoor Heat Sources According to EN 15026

Apply Type of Indoor Humidity			etc.
High Moisture Load	Medium Moisture Load	Low Moisture Load	
Relative Humidity 40~70%	Relative Humidity 30~60%	Relative Humidity 25~55%	<b>High Moisture Load Applied</b>

Table 10. Simulation Results from Hygrothermal Analysis





WUFI 시뮬레이션 결과인 Table 10.을 보면 Medium Moisture Load의 경우 1년이면 벽체가 안정권에 접어들어 함수율이 시간이 지남에 따라 떨어짐을 확인할 수 있다. 반면 High Moisture Load의 경우 해년마다 벽체 구성 재료 비드법 보온판, 합판, 글라스울 모두 함수율이 증가함을 볼 수 있다. 특히 실내측 표면 온습분포의 경우 해년 마다 증가하는 벽체내부 함수율로 시뮬레이션 벽체는 하자를 피하기 어려워 보인다. 이렇듯 같은 기후, 같은 벽체성능을 가지고도 내부 기후조건에 따라 벽체의 안정성이 다르게 분석되기 때문에 외벽성능을 강화하고자 하는 정책 흐름과 함께 이를 수용한 경제성 있고 안전한 건축외피의 구성을 만들어 내기 위해서는 실내 온습환경에 대한 정확한 분석과 국내기준 수립이 필요하다 할 것이다.

#### 4. 결론

이 연구에서는 한국의 고유 기후 조건 및 실내 환경의 특성 분석을 바탕으로 실내 온습 환경에 영향을 주는 실제 거주자의 생활 패턴 등이 반영된 습도 발생량을 추산하기 위한 모델을 제시하였다. 이를 위해 대상지 선정의 원칙 3가지를 설정하고, 이를 만족하는 대상지로 패시브하우스 7곳을 선정하였다. 습도발생량은 건축물의 냉방성능에 영향을 주는 지표이기 때문에 주요 모니터링 기간은 여름철로 설정하였으며 분석된 결과를 요약하면 다음과 같다.



첫 째, 이 연구를 통해 국내 고유의 생활 습도발생량에 대한 추이를 확인할 수 있었다. 표면적으로 실내 온습환경은 일정 수준 유지되어 있었으나 시간당 공급되는 신선 공기와 누기 및 침기를 통해 빠져나가고 들어오는 공기량을 통한 보정값을 살펴보면, 다른 서구 국가보다 국내 주거환경에서 실내습도 발생량이 더 많음을 확인할 수 있었다.

둘 째, 실내습도 발생량의 역산 결과값과 서구의 기준값을 활용하여 에너지 해석 비교 분석 결과, 여름철 냉방부하 및 에너지 성능치의 차이를 확인할 수 있었다. 다만, 냉방부하 측면에서는 현재 상용화되고 있는 건축설비 용량에 비해 작은 값의 범위 내에서 변동 추이를 보이나, 목조건축의 벽체 내부 안정성 평가 측면에서는 유의미한 분석 결과의 차이를 확인할 수 있었다.

이 연구는 실제 거주자를 대상으로 측정된 데이터를 적용하여 거주자 생활 패턴이 반영된 결과를 분석하였다는 점에서 의미가 크다. 분석 대상지 선정 과정에서 발생습도가 실내 공기속으로 유지되는 조건을 만족시켜야 했기 때문에 다양한 주거유형을 설정하여 전반적인 분석으로 이어지지 못했다는 한계점이 있으나, 현재 국내기준이 전무한 상황에서 외국 기준을 적용한 에너지 및 부하 분석과 실측값의 의미 있는 차이점을 도출하고 검증하였다는 것에 본질적인 의미를 찾을 수 있다. 본 연구에서는 7개소의 온습도를 여름철 1달 가량의 데이터를 분석한 결과로 대표성을 갖는 값으로 주장하기에는 성급한 일반화의 오류에 빠질 수는 있으나 내외부 온습도만 측정하여 실내습도량을 추정하는 방법론을 제시하는 연구로서 의미가 있으며 국내 여러 지역과 다양한 용도의 시험체를 유형화하여 데이터를 누적하고 추산모델을 활용한 계산 결과와 실제 사용패턴 설문 등을 통한 실내 습도발생량의 추정치 등을 후속연구를 통해 비교분석한다면 신뢰성 확보를 시도할 수 있을 것으로 보인다.

### Acknowledgement

This research was developed from Master's Thesis by Tae-Ryong Kim joined as an industrial collaborator and supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by Korean Ministry of Education (NRF-2015R1D1A1A01060063).

### Reference

- [1] 김태룡, 국내 주거시설 실내습도 발생량에 관한 연구, 전남대학교 석사학위 논문, 2018 // (Kim, Tae-Ryong, A Study About Korean Residential's Internal Humidity Source, Mater's Thesis, Chonnam National University, 2018)
- [2] 이정훈, 경량목구조 패시브하우스 외피의 Hygrothermal 거동, 숭실대학교 박사학위 논문, 2017 // (Lee, Jeong-Hoon, Hygrothermal Behavior of Envelope of Light Wooden Structures for Passive Houses, Ph.D. thesis, Soongsil University, 2017)
- [3] 박경수, 염동우, 이규인, 셀룰로오스 단열재의 온도 및 습도 조절성능 실험연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제31권 제7호, 2015, pp.13~20 // (Park, Kyoung-Soo, Youm, Dong-Woo, Lee, Kyuin, Experimental Research on the Temperature and Humidity Control Performance of

- Cellulose, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.31, No.7, 2015, pp.13~20)
- [4] 이은혜, 충남지역 저소득 가구에 대한 실내공기질연구, 순천향대학교 석사학위 논문, 2014 // (Lee, Eun-Hye, A Study of Indoor Pollutants Concentration at Chungchungnamdo Low-income Households, Mater's Thesis, Soonchunhyang University, 2014)
- [5] 고유미, 식물을 이용한 실내환경 개선방안에 관한 연구, 인천대학교 석사학위 논문, 2009 // (Ko, Yoo-Mi, A Study on Improvement of Indoor Environment Using Plants, Mater's Thesis, Incheon University, 2009)
- [6] 고연정, 유아교육시설 내 실내공기질 특성 및 위해성평가에 대한 연구, 서울시립대학교 석사학위 논문, 2008 // (Ko, Yeon-Jeong, A Study on Characteristics of Indoor Air Quality and Risk Assessment of Preschool Facility in Korea, Mater's Thesis, University of Seoul, 2008)
- [7] 조정훈, 국내 다중이용시설의 연중 실내곰팡이 농도 특성 관리기준 마련에 관한 연구, 고려대학교 석사학위 논문, 2016 // (Jo, Jeong-Heum, Annual Profile of Airborne Mold Levels in the Built Environment and the Suggested Mold Guideline in Indoor, Mater's Thesis, Korea University, 2016)
- [8] 정성민, 민감계층시설의 실내공기질 조사에 관한 연구, 건국대학교 석사학위 논문, 2016 // (Jung, Seong-Min, A study on Indoor Air Quality for Sensitive Population Facilities, Mater's Thesis, Kunkook University, 2016)
- [9] 윤경원, 소형 공동주택의 온습도 조사를 통한 결로방지 설계기준 제안 연구, 성균관대학교 석사학위 논문, 2016 // (Yoon, Kyoung-Won, A Study on the Design Criteria of Preventing Condensation through Analysis of the Temperature and Humidity in Small-sized Apartment, Mater's Thesis, Sungkyunkwan University, 2016)
- [10] 이태강, 최은석, 김항, 김형렬, 김선우, 전남지방 전통주택의 열 환경 및 음 환경 평가에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 제22권 제2호, 2006, pp.209~218 // (Kim, Hyung-Ryeol, Experimental Study on the Thermal and Acoustic Environmental Evaluation of the Korean Traditional Houses in Chonnam Province, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol.22, No.2, 2006, pp.209~218)
- [11] 박세영, 공동주택 결로 방지 설계기준 개선에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위 논문, 2015 // (Park, Se-Young, A Study on the Improvement of the Condensation Prevention Standards in Residential Buildings, Mater's Thesis, Sungkyunkwan University, 2015)
- [12] 권영철, 서성연, 김성용, 섬유질 단열재의 열적 특성 및 내화성능, 한국구조물진단유지관리공학회지, 제9권 제3호, 2005, pp.203~212 // (Kwon, Young-Cheol, Seo, Seong-Yeon, Kim, Seong-Yong, Thermal Property and Fire Resistance of Cellulose Insulation, Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.9, No.3, 2005, pp.203~212)
- [13] 박종문, 김동환, 서동진, 친환경 건축물 단열재 최근 연구 동향, 청정기술, 제18권 제1호, 2012, pp. 14~21 // (Park, Jong-Moon, Kim, Dong-Hwan, Seo, Dong-Jin, Recent Research Trends for Green Building Thermal Insulation Materials, Clean Technology, Vol.18, No.1, 2012, pp. 14~21)
- [14] 유광훈, 홍성덕, 진현영, 신민중, 친환경 근린개발 평가인증체계 개발을 위한 평가항목 도출, 한국도시설계학회지, 제13권 제6호, 2012, pp.41~54 // (Yoo, Gwang-Heum, Hong, Seong-Deok, Jin, Hyeon-Young, Shin, Min-Jong, Assessment Indicator for Environment-Friendly Urban Design, Journal of Urban Design Institute of Korea, Vol.13, No.6, 2012, pp.41~54)
- [15] Humidity Conversion Formulas, Vaisala