



## 온실의 열을 이용한 저에너지하우스의 패시브 난방 효과 분석

### *An Analysis on Effects of Passive Heating of Low Energy House Using Heat in Greenhouse*

유동완\* · 이태구\*\*

Yoo, Dong-Wan\* · Lee, Tae-Goo\*\*

\* Dept. of Construction Engineering, Semyung Univ. South Korea (ydw@nate.com)

\*\* Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Semyung Univ. South Korea (tglee2911@naver.com)

#### ABSTRACT

**Purpose:** In Korea, to reduce greenhouse gas emissions, energy performance standard of buildings is being reinforced with goals of Passive House until 2017 and Zero Energy House until 2025 in order to reduce emissions from buildings which constitute a quarter of greenhouse gas emissions. In order to achieve the target of Zero Energy House, it is certainly necessary to develop renewable energy that can replace cooling and heating energy occupying a significant amount of building energy consumption after increasing the energy performance firstly. **Method:** In this study, effects of heat in greenhouse heated by solar heating on indoor heating were analyzed by constructing a greenhouse in front of the Low Energy Building. **Result:** As a result, indoor temperature was increased by peak average 27.8 °C, peak average 6.8 °C was increased from when heat in greenhouse has not been used for heating and indoor surface temperature was increased by average 5.1 °C. It shows it can be possible to use heat in greenhouse for heating, if the heating effects can be same as this experimental result because Energy Saving-Type buildings such as Low Energy House or Passive House keep from 18 to 20 °C in winter. Therefore, even if energy supply is cut off by disasters and other reasons, cooling and heating can be possible for some time.

#### KEYWORD

온실난방  
태양열  
저에너지하우스  
패시브하우스

Heating for Greenhouse  
Solar Heat  
Low Energy House  
Passive House

#### ACCEPTANCE INFO

Received Aug 29, 2016  
Final revision received Oct 20, 2016  
Accepted Oct 25, 2016

© 2016 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 지구온난화로 인해 지구촌 곳곳에서는 다양한 이상기후들이 나타나고 있으며, 이로 인한 대규모 인명 및 재산상의 피해가 발생하고 있다. 'IPCC<sup>1)</sup> 제5차 평가 종합 보고서'에 따르면, 전 세계적으로 인위적 온실가스 배출량은 계속해서 증가해왔으며, 이 온실가스가 20세기 중반 이후부터 관측된 지구온난화의 주원인일 가능성이 대단히 높다고 발표하였다. 이에 에너지와 환경문제가 지구적 차원의 주요 이슈로 다루어지고 있으며, 우리나라는 2009년 국가 중기 온실가스 감축 목표(2020년 BAU 대비 30% 감축)를 대내외에 발표하고, 국가 로드맵을 수립하여 온실가스 배출량을 감축해 나가고 있다.

2013년 기준, 국내 온실가스 총배출량(LULUCF 제외)은

694.5 백만 톤 CO<sub>2</sub>eq.으로, 이 중 87.3%(606.2 백만 톤 CO<sub>2</sub>eq.)가 에너지 분야<sup>2)</sup>에서 배출되고 있다.<sup>3)</sup> 이에 국내 총에너지 소비량의 약 1/4을 차지하는 건물부문에 대한 에너지 저감의 필요성이 대두되고 있으며, 특히 건물에서 가장 많이 소비되는 냉·난방에너지(69%)에 중점을 두고 관련 연구 및 정책들이 이루어지고 있다.<sup>4)</sup> 결국 효과적인 온실가스 감축을 위해서는 건물에서의 냉·난방에너지 소비량을 최소화할 수 있는 건축적 기술과 더불어, 친환경적인 에너지를 이용한 냉·난방 방안이 필요하다.

이에 본 연구는 '온실을 이용한 난방시스템 개발'을 위한 기초 연구 단계로서, 태양열에 의해 데워진 온실의 공기를 건물 내부로 유입시키고, 그에 따른 실내 온도 변화 모니터링을 통해 난방 효과를 분석함으로써, 친환경 난방시스템 개발에 필요한 기초 데이터로서 제공하고자 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 온실과 태양열에 의해 데워진 열을 실내로 공급하기 위해 열교환기, 환기장치 등의 액티브(Active)한 방식을

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698

http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2016.16.5.103

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0108732016) 및 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ010873032016)의 지원에 의해 이루어진 것임

1) 기후변화에 관한 정부간 협의체(The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)는 기후변화를 평가하는 선도적인 국제기구로, UN 환경계획(UNEP)과 세계 기상기구(WMO)는 전 세계적으로 발표된 최신의 과학적, 기술적 및 사회경제적 정보를 바탕으로 기후변화의 과학적 측면에 대한 권위 있는 평가를 제공하기 위해 창설된 기구임. IPCC는 기후변화의 원인과 그 영향 및 실현 가능한 대응 전략을 주기적으로 평가하여, 기후변화에 관한 가장 포괄적인 최신 정보들을 제공하며, 전 세계 학계, 정부 및 산업 부문에서 기후변화와 관련된 모든 사항에 대해 표준 참고 자료를 만드는 기구임.

2) 국내 에너지 분야의 온실가스 배출량 중 99.2%가 연료 연소에 의한 온실가스 배출량임.

3) 2015 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 온실가스종합정보센터.

4) 국제에너지기구(IEA, International Energy Agency)에 따르면, 전 세계 총에너지 사용량의 약 36%가 건축물에서 사용되었으며, 유럽연합(EU)은 총에너지 사용량의 41%, 일본 34%, 미국 34%, 한국 24%가 건축물에서 사용되는 것으로 나타남.

이용하지 않고, 온실과 건물 사이에 설치된 창문을 통한 자연대류에 의하여 온실의 열을 실내로 공급하고자 한다.

이에 본 연구는 크게 3단계로 나누어 실험을 진행하였다. 첫째, 실험을 위해 필요한 Mock-Up을 계획·설계·시공하여 구축한다. 둘째, 4주(2016.03.15 ~ 2016.04.11)의 모니터링 기간 동안, 태양열에 의해 데워진 온실의 공기를 실내 난방에 사용하지 않은 경우(Case1)와 사용한 경우(Case2)의 실내 온도 변화를 모니터링 하였다. 셋째, 모니터링 기간 동안 측정된 Case1(창문 미 개방)과 Case2(창문 개방)의 실내 온도 데이터를 비교·분석하여 온실을 이용한 건물의 실내 난방 효과를 분석한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1. Wintergarten

독일에서는 건물의 전면에 온실을 설치한 건물들을 쉽게 찾아 볼 수 있다. 이는 겨울철 낮에 태양열에 의해 30 °C 이상 데워진 온실의 따뜻한 공기를 집안으로 들여보내 실내 온도를 높이는 역할을 하며, 단열이 잘 이루어지고 온실의 규모를 적정하게 설치할 경우에는 겨울 낮 시간 동안 특별한 난방 없이도 20 °C 이상의 실내 온도를 유지할 수 있도록 해주기 때문이라고 한다.<sup>5)</sup> 독일에서는 이러한 온실을 겨울정원(Wintergarten)이라고 한다. 이는 건물 내부와 외부의 완충공간으로서의 역할을 하며, 온실 공간에 화초나 정원을 꾸밈으로써 겨울철에도 항상 식물들의 푸르름을 집안에서 느낄 수 있도록 해준다.

### 2.2. 패시브하우스 개념 및 기준

Table 1. Germany passive house criteria

Division		Criteria
Annual space heating demand		≤ 15 kWh/m <sup>2</sup> a
Annual primary energy demand		≤ 120 kWh/m <sup>2</sup> a
Heating and cooling load		≤ 10 W/m <sup>2</sup>
Airtightness(n <sub>50</sub> )		≤ 0.6 h <sup>-1</sup>
Opaque building envelope U-value		≤ 0.15 W/m <sup>2</sup> K
Windows	U-value	≤ 0.8 W/m <sup>2</sup> K
	g-value	≥ 0.5
Ventilation (η <sub>HR,eff</sub> )		≥ 75 %

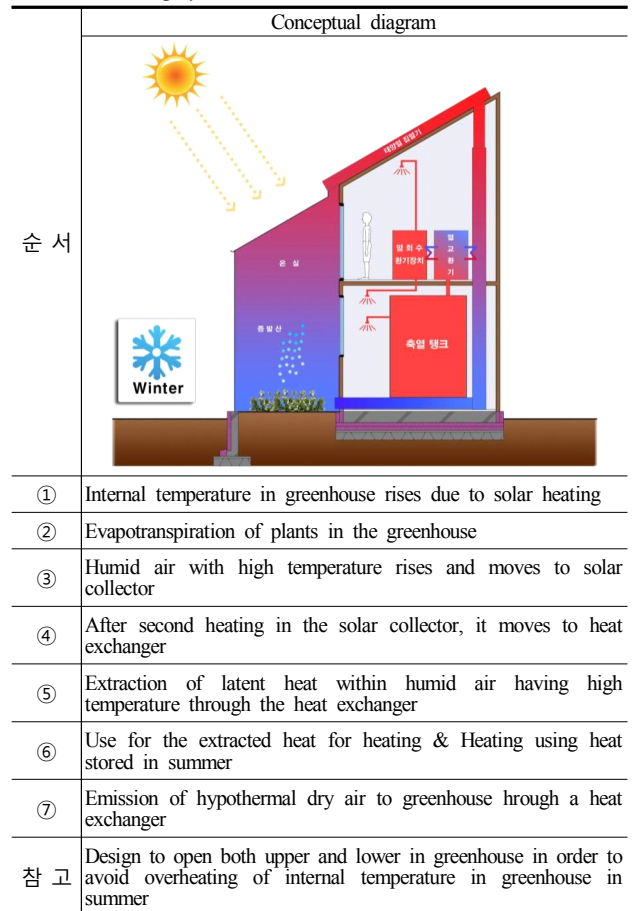
패시브하우스는 1988년 Prof. Bo Adamson과 Prof. Wolfgang Feist의 공동 협력 연구를 통해 처음 정의된 개념으로, 정성적 의미의 패시브하우스는 '직접적 난방설비의 도움 없이 생활에 필요한 최소한의 신선한 공기를 보조적 설비 수단으로 조금 온도를 올리거나, 내림으로써 재실자가 열적, 공기질적으로 만족할 수 있는 건물'<sup>6)</sup>이라고 정의하고 있으며, 정량적인 의미의 패시브하우스는 연간 난방 에너지 요구량 15 kWh/m<sup>2</sup>·a 이하, 냉·난방·급탕·전기를 포함한 1차 에너지 소요량 120 kWh/m<sup>2</sup>·a

이하인 건물을 말한다. 이러한 패시브하우스는 유럽을 중심으로 발전하였으며, 현재는 전 세계적으로 건축물의 에너지 사용량을 최소화할 수 있는 주요 건축기술로서 평가받고 있다.

### 2.3. 온실을 이용한 난방시스템의 기본 원리

'온실을 이용한 난방시스템' 기본 원리는 7단계로 이루어져 있다. 첫째, 태양열에 의해 건물 전면에 구축된 온실의 내부 온도가 상승한다. 둘째, 온실 온도가 상승하면서 온실 내부의 식물에서 증발산 작용이 일어난다. 셋째, 증발된 고온의 습공기가 대류 현상에 의해 지붕의 집열기까지 상승한다. 넷째, 태양열 집열기에서 2차 가열된 고온·다습한 공기는 덕트(Duct)를 통해 열교환기로 유입된다. 다섯째, 열교환기에서 고온·다습한 공기의 열을 추출한다. 여섯째, 비 난방 기간의 경우 추출한 열을 축열탱크에 저장하고, 난방 기간의 경우 추출한 열과 축열탱크에 저장되어 있는 열을 폐열회수 환기장치에 공급하여 난방에 이용한다. 일곱째, 열교환기에서 열이 추출되어 저온 건조해진 공기는 온실로 배출시켜 재순환 되도록 한다.

Table 2. Using greenhouse on the principles of heating and cooling system



- ① Internal temperature in greenhouse rises due to solar heating
  - ② Evapotranspiration of plants in the greenhouse
  - ③ Humid air with high temperature rises and moves to solar collector
  - ④ After second heating in the solar collector, it moves to heat exchanger
  - ⑤ Extraction of latent heat within humid air having high temperature through the heat exchanger
  - ⑥ Use for the extracted heat for heating & Heating using heat stored in summer
  - ⑦ Emission of hypothermal dry air to greenhouse through a heat exchanger
- 참고 Design to open both upper and lower in greenhouse in order to avoid overheating of internal temperature in greenhouse in summer

5) 생태도시 김잡이, (사)녹색연합부설 녹색사회연구소, 2007.

6) PHI(Passive House Institute).

### 3. Mock-up 구축

#### 3.1. Mock-up 계획 및 설계

##### 1) 건물의 계획 및 설계

본 연구를 위한 Mock-up은 크게 건물과 온실로 구성된다. 건물은 패시브하우스 디자인 요소(7)를 적용하여 설계하였으며, 친환경 건축재료를 사용함으로써 건축재료 제작 시 발생하는 이산화탄소를 절감하고, 폐기 시 재료의 재사용 및 재활용이 가능하도록 계획하였다. 이에 건물의 구조체는 목재를 이용하였으며, 단열재로는 파쇄 종이를 주원료로 하는 셀룰로오스 단열재를 구조체 내부에 충전하였다. 건물의 구조는 국내의 잦아지는 지진에 대비하고, 일반 경량목구조에 내구성을 보완하기 위해 중량목구조와 경량목구조를 혼합한 구조로 설계하였다.

Table 3. The designs overview of mock-up

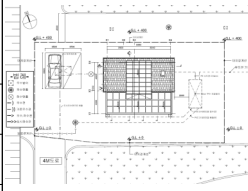
Division	Information		Plot plan	
Year of construction	2013.01 ~ 2014.07			
Lot area	369.63 m <sup>2</sup>			
Building area	Building part	35.53 m <sup>2</sup>		65.23 m <sup>2</sup>
	Greenhouse part	29.70 m <sup>2</sup>		
Internal volume	Building part	212.82 m <sup>3</sup>		
	Greenhouse part	134.21 m <sup>3</sup>		
Gross area	100.76 m <sup>2</sup>			
Building construction	Light weight wood framing system + Heavy timber construction			

Table 4. The material and U-value on mock-up structure by part

Division	Material	Thickness	Thermal conductivity (W/m·K)	Thermal transmittance (W/m <sup>2</sup> ·K)
Roof	Cedar shake	30	0.13	0.119
	Water proofing sheet	3	0.17	
	OSB panel	18	0.13	
	OSB panel	11	0.13	
	Preserved wood	38	-	
	Membrane	1	0.17	
	Stud(2x4) and cellulose	90	0.04	
	Stud(2x12) and cellulose	285	0.04	
External wall	OSB panel	18	0.13	0.164
	Cedar siding	17	0.13	
	Preserved wood	38	-	
	Membrane	1	0.17	
	OSB panel	11	0.13	
	Stud(2x12) and cellulose	285	0.04	
Floor	OSB panel	18	0.13	0.117
	Loess plaster	30	0.8	
Windows	Mat foundation	300	2.3	0.72 (g=0.48)
	XPS insulation	200	0.027	
Windows	LOW-E triple glazing	44	-	0.99
	PVC frame	86	-	

7) 패시브하우스의 기본요소(고단열, 고품질, 고성능창호, 폐열회수환기장치, 열교의 최소화)와 패시브하우스 기준을 고려하여 설계에 반영함.

건물의 평면은 에너지 효율 및 실용적인 공간 활용을 위하여 요철이 없는 직사각형의 단순한 형태로 계획하였으며, 1층은 ‘온실을 이용한 난방시스템’에 필요한 설비들이 위치할 설비실을 구성하고, 2층은 모니터링 및 연구 회의를 위한 공간으로 설계하였다. 또한 건물의 지붕은 30도 각도의 외경사 지붕으로 계획하였다. 이는 지붕에 위치한 집열부가 태양열을 최대한으로 획득할 수 있도록 지붕 경사각과 태양일사각을 고려하여 계획한 결과이며, 외경사 지붕을 구성하면서 발생된 내부의 경사진 공간은 다락으로 구성하여 공간을 활용하였다.

##### 2) 온실의 계획 및 설계

본 시스템에 적용될 온실은 태양열 획득, 활발한 증발산 작용이 일어날 수 있는 환경 조성, 열손실 방지를 위한 단열 성능 확보, 여름철 온실 과열 방지 등을 위한 방안이 필요하였으며, 이를 계획단계에서부터 고려하여 설계에 반영하였다.

첫째, 남향을 하고 있는 건물의 전면에 온실을 계획하여 건물과 온실 모두 남향함으로써 충분한 일사량을 획득할 수 있도록 설계하였다. 둘째, 온실 내부를 식재 및 조경공간으로 조성하고, 온실과 건물이 면한 벽체의 일부를 녹화함으로써 온실 내부에서 증발산이 활발히 일어날 수 있도록 계획하였다. 이는 겨울철에도 푸르른 건물의 외관을 이룰 수 있는 미적 기능을 함께 갖기도 한다. 셋째, 온실의 내구성 및 단열 성능을 확보하기 위하여 Low-E 코팅 복층유리와 단열 프레임용 이용해 온실을 구성하였다. 넷째, 여름철 온실 내부가 과열되어 건물의 냉방부하가 높아지는 것을 방지하기 위해 온실의 상·하부 창문을 모두 개폐가 가능하도록 계획하여, 과열된 공기가 온실 상부의 개폐창호를 통해 나가고, 상대적으로 차가운 공기는 온실 하부를 통해 유입되어 공기의 순환이 이루어지도록 계획하였다.

#### 3.2. Mock-up 시공

##### 1) 건물의 시공과정

앞서 계획 및 설계 단계를 통해 결정된 내용에 따라 Mock-up에 대한 공사가 이루어졌으며, 건물과 온실 공사는 다음과 같은 과정에 의해 시공되었다.

첫째, 기초 및 바닥 단열공사이다. 건물의 기초는 터파기 및 잡석다짐 후 100mm 압출법 단열재를 2겹으로 교차 시공하여 열교를 최소화했으며, 그 위에 매트기초를 시공하였다. 온실의 기초는 식생이 뿌리내릴 수 있는 깊이 등을 고려하여, 매트기초가 아닌 줄기초로 시공하였다.

둘째, 외벽 및 지붕 구조체 공사이다. 건물의 내구성을 높이기 위해 경량목구조와 중량목구조를 혼합한 구조를 사용하였으며, 기둥·보를 구성하고, 셋기둥(Stud) 세워 외벽을 구성하였다. 지붕은 유럽식 온 지붕(Warm roof) 방식으로 구성하였으며, 외벽 및 지붕의 외피면에 투습방수지를 설치하여 단열재를 물로부터 보호하고, 목재인 구조체의 내구성을 보완하였다.

셋째, 단열공사이다. 셀룰로오스 단열재를 벽체 내부에 충전하기 위해 내벽을 타공한 후, Blow-in 공법을 이용하여 벽체 내

부에 셀룰로오스 단열재를 충전한다. 충전이 완료되면 단열재가 흘러나오지 않도록 타공 부위를 기밀테이프로 마감하였다.

넷째, 창호 및 기밀공사이다. 창호 설치 시 창호 주변의 단열 및 기밀한 시공이 이루어져야 하기 때문에, 본 Mock-up에서는 수성 연질 폼을 창호 주변 틈에 주입하여 단열시공하였고, 창호 주변을 따라 윈도우 랩을 부착하여 기밀한 시공을 하였다. 창호 뿐만 아니라 건물을 관통하여 외부로 연결되는 설비라인 주변이나, 특히 목조건물에서 부재와 부재가 만나는 부분 등 침기·누기가 발생할 수 있는 부분에 대해서는 모두 기밀 자재를 이용하여 기밀하도록 시공하였다.

다섯째, 난방 시스템 및 환기 설비 공사이다. 태양열 집열기에서 집열된 공기를 송풍시키기 위한 송풍기, 고온 다습한 공기의 열과 습기를 분리하기 위한 기수분리기와 열을 추출하기 위한 열교환기, 난방 공기를 공급하고 건물 내 환기를 위한 폐열회수환기장치, 열을 저장할 축열 탱크 등의 시설을 설치하고, 설비라인을 통해 연결하였다.

여섯째, 외부 및 실내 천연재료 마감공사이다. 외부는 통기층을 만든 후, 삼목 사이딩(Siding)으로 마감하였으며, 오일 스테인(Oil stain)을 2회 바름으로써 목재가 부식되는 것을 방지하였다. 또한 실내는 목재 플로어링(Flooring) 및 흙 등 친환경적인 재료를 이용하여 마감하였다.

Table 5. The construction process of mock-up in building parts

① Construction of mat foundation	② Construction of external wall and roof
	
③ Construction of insulation	④ Construction of windows and airtightness
	
⑤ Construction of ventilation and facilities	⑥ Construction of internal and outdoor finish
	

2) 온실의 시공과정





첫째, 온실 구조체 공사이다. 철재프레임으로 된 가로 부재와 세로 부재의 맞댄이음과 볼트 고정을 통해 온실을 지지하는 구조체를 구성하고, 온실 지붕의 형태는 건물 지붕의 경사면을 따라 내려와 동일한 형태로 구성하였다.

둘째, 단열 프레임 공사이다. 철재프레임 구조체에 온실의 단열 성능을 고려하여, 알루미늄 단열 프레임과 Low-E 코팅 복층유리를 설치한다. 온실 하부에는 수동으로 개폐 가능한 창호를 설치하고, 온실 상부 및 천장에는 기계를 통해 개폐가 가능한 창호를 설치하여, 여름철 온실이 과열되는 것에 대비하였다.

셋째, 태양열 집열부 공사이다. 태양열 집열부의 온도를 극대화하기 위해 검은색의 열흡수판을 설치하고, 집열부에서 2차 가열되어 고온·다습해진 공기가 실내에 위치한 열교환기로 유입될 수 있도록 지붕과 집열부를 연결해주는 덕트(Duct)를 설치한다. 이후 집열기 주변을 유리온실과 동일하게 온실 프레임과 유리를 설치하여 집열부를 구성하였다.

넷째, 온실 녹화공사이다. 식재는 여름철 직사광선에 내성을 가지고 있으며, 증발산량이 많은 활엽수종의 식물을 식재하였다. 벽면녹화는 건물 전면의 일부에 벽돌과 현무암 판석을 쌓아 올려 식재가 생육할 수 있는 공간을 만들어 식재를 심었으며, 벽면녹화의 상부로부터 물이 흘러내릴 수 있는 관로를 설치하여, 펌프를 이용해 식물에 물을 공급할 수 있도록 구성하였다.

Table 6. The construction process of mock-up in greenhouse parts

① Construction of greenhouse	② Construction of glass and frame
	
③ Construction of solar heat collector part	④ Planting vegetation in the greenhouse
	

3.3. Mock-Up 에너지성능 분석

본 실험을 위해 구축된 Mock-up은 건물의 열손실을 줄임으로써 효과적인 난방이 가능하도록, 저에너지 하우스 수준의 에너지 성능을 목표로 계획·시공되었다. 이에 본 Mock-up의 건물에너지 성능을 평가하기 위해 독일 PHI(Passive House Institute)에서 개발한 PHPP(Passive House Planning Package)<sup>8)</sup> 프로그램을 이용하였으며, 다음(Table 7)과 같은 기본 경계 조건을 적용하여 에너지 성능을 평가하였다.

Table 7. The base boundary condition for energy efficiency analysis

Division	Condition	
	Setting temperature	Heating
Cooling		$T_i = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
Number of dwelling units	2	
Area and volume	Floor area	39.70 $\text{m}^2$
	Treated floor area	58.9 $\text{m}^2$
	Volume	312.9 $\text{m}^3$
Climate data	Jecheon	
Method	Monthly method	

8) 독일 PHI(Passive House Institute)에서 개발한 프로그램으로 국제 표준규격인 ISO13790에 근거하여 주거용 및 비주거용 건물의 에너지 요구량을 산출하는 프로그램.

이를 바탕으로 Mock-up의 건물에너지 성능을 분석한 결과 연간 난방에너지 요구량이 47 kWh/m<sup>2</sup>·a인 것으로 평가되었으며, 이는 계획 당시 목표로 했던 저에너지하우스 수준<sup>9)</sup>의 에너지 성능을 만족한 결과라고 할 수 있다.

Specific Demands with Reference to the Treated Floor Area			
Treated Floor Area:	58.9 m <sup>2</sup>		
Specific Space Heat Demand:	47 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)	PH Certificate:	15 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Pressurization Test Result:	1.3 h <sup>-1</sup>		0.6 h <sup>-1</sup>
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating, Cooling, Auxiliary and Household Electricity):	157 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		120 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Specific Primary Energy Demand (DHW, Heating and Auxiliary Electricity):	96 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		
Specific Primary Energy Demand Energy Conservation by Solar Electricity:			
Heating Load:	30 W/m <sup>2</sup>		
Frequency of Overheating:	%	OVER	25 °C
Specific Useful Cooling Energy Demand:	11 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)		15 kWh/(m <sup>2</sup> ·a)
Cooling Load:	12 W/m <sup>2</sup>		
		Fulfilled?	No
			No
			No
			Yes



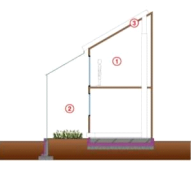
Fig. 1. The result on building energy performance evaluation of mock-up

## 4. 온실을 이용한 난방효과 분석

### 4.1. 모니터링 계획

본 연구에서는 하나의 Mock-up을 가지고, 두 가지 경우로 나누어 실험하였다. Case1(창문 미개방)의 경우 건물의 모든 창문을 닫은 상태에서 실내 온도 변화를 측정하였다. 반면 Case2(창문 개방)의 경우 태양열 획득량이 많은 오전 10시~오후 5시까지의 시간 동안 건물의 온실측 창문을 열어 온실의 열을 실내로 유입시키고, 이에 따른 실내 온도 변화를 측정하였다. 이에 두 경우의 외부 온도조건이 유사할 경우 Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)의 온도 변화량 차이는 온실로부터 획득한 열이라고 할 수 있으며, 이를 통해 온실을 통한 난방효과를 알아보고자 한다.<sup>10)</sup>

Table 8. The plans and methods of monitoring

Division	Case 1			Case 2			X
	1Day	2Day	3Day	4Day	5Day	6Day	
1 Weeks							•
2 Weeks							
3 Weeks							
4 Weeks							
Temperature measurement positions				① Internal temperature → Meeting room (2F) ② Internal surface temperature → South internal wall of meeting room (2F) ③ Outdoor temperature → Korea meteorological administration climate data (Jecheon)			

9) 연간 난방에너지 요구량이 30~60 kWh/m<sup>2</sup>·a인 건물.

10) Case1 = 유리를 통한 일사획득 - 건물에서의 열손실  
 Case2 = 유리를 통한 일사획득 + 온실열 획득 - 건물에서의 열손실  
 Case2 - Case1 = 온실을 통한 획득량

본 실험은 총 4주(2016.03.15 ~ 2016.04.11)간 진행되었다. 1주일 중 3일은 Case1(창문 미개방) 실험을 진행하고, 이후 3일은 Case2(창문 개방) 실험이 진행되었으며, 나머지 하루는 Case2(창문 개방) 실험 이후 아직 내부에 잔열이 남아있을 경우 다음 이어질 실험의 실내 온도에 영향을 미칠 수 있는 상황을 고려하여, 실험을 진행하지 않았다. 건물의 실내 온도는 2층 회의실에 온도 측정 장비를 설치하여 측정하였으며, 실외 온도는 실험 당일의 기상청 기온 데이터(제천)를 이용하였다. 또한 실내 표면온도는 실내의 남측벽 중 햇빛이 직접적으로 비치지 않는 벽을 대상으로 열화상카메라를 이용하여 측정하였다.

### 4.2. 온도 측정 결과

#### 1) Case1(창문 미개방)

Case1(창문 미개방) 실험 당시 실외 온도 변화를 분석한 결과 실외 평균 최저 온도 2.6 °C(오전 5시), 실외 평균 최고 온도 16.1 °C(오후 4시)로 13.5 °C의 큰 온도 변화폭을 보였으며, 하루 평균 실외 온도는 9 °C인 것으로 나타났다. 이에 반해 당시 실내 온도 변화를 분석한 결과 실내 평균 최저 온도 18.6 °C(오전 7시), 실내 평균 최고 온도 21.4 °C(오후 5시)로 2.8 °C의 작은 온도 변화폭을 보였으며, 하루 평균 실내 온도는 20 °C인 것으로 나타났다. 시간별로 평균 실내 온도 변화를 살펴보면 크게 온도 상승 구간(오전 10시~오후 6시)과 하강 구간(오후 6시~오전 10시)으로 나뉜다. 오전 10시(19.7 °C)부터 오후 5시(21.4 °C)까지 건물의 닫힌 창문 유리를 통해 태양열을 획득함으로써 실내 온도가 1.7 °C 상승하였으며, 오후 5시 이후부터는 느린 속도로 실내 온도가 점차 하강하였다. 이처럼 온도 변화폭이 크고, 하루 평균 온도가 상대적으로 낮은 실외 환경에서도 실내 온도를 20 °C(±2 °C)로 유지할 수 있었던 것은 저에너지 건물로 설계되고, 그에 따라 올바르게 시공되었다는 것을 보여주는 결과이다.

실내 표면 온도를 측정된 결과 오전 10시에는 평균 18 °C, 오후 5시에는 평균 19.3 °C로, 오전 10시~오후 5시까지 평균 실내 표면 온도가 1.3 °C 상승한 것으로 나타났다.

#### 2) Case2(창문 개방)

Case2(창문 개방) 실험 당시 실외 온도 변화를 분석한 결과 실외 평균 최저 온도 1.5 °C(오전 6시), 실외 평균 최고 온도 16.2 °C(오후 3시)로 14.7 °C의 큰 온도 변화폭을 보였으며, 하루 평균 실외 온도는 8.5 °C인 것으로 나타났다. 이에 반해 당시 실내 온도의 변화는 온실측 창문 개방 전과 후로 나뉘어 명확하게 나타났다. 오전 10시(18.7 °C)에 창문을 개방한 후부터 오후 2시(27.8 °C)까지 지속적으로 실내 온도가 상승하였으며, 오후 2시부터(27.8 °C) 오후 5시(25.1 °C)까지 온도가 점차 하강했다. 오후 5시에 창문을 닫은 후부터는 계속해서 실내의 온도가 하강하는 모습을 보였으나, 오후 2시~오후 5시 구간에서의 실내 온도 하강 속도보다 느린 것을 확인할 수 있었다. 이는 오전 11시부터 오후 2시까지 온실의 열을 획득함으로써 따뜻해진 실내 온도가 오후 2시부터 오후 5시 구간에는 온실 온도와 비슷해지면서, 반

대로 단열성능이 높은 건물의 실내 열이, 상대적으로 단열성능이 낮은 온실로 개방된 창문을 통해 열손실이 이루어지는 상황으로 볼 수 있으며, 이는 온실측 창문을 닫은 오후 5시 이후의 실외 온도는 점점 빠르게 하강하지만, 오히려 실내 온도는 오후 2시~오후 5시 구간보다 온도 하강 속도가 느린 것을 보면 그 결과를 더욱 명확히 판단할 수 있다.

실내 표면 온도를 측정된 결과 창문을 개방하기 직전인 오전 10시에는 평균 16.9 °C, 창문을 닫기 직전인 오후 5시에는 평균 23.3 °C로, 오전 10시부터 오후 5시까지 평균 실내 표면 온도가 6.4 °C 상승한 것으로 나타났다.

Table 9. The average temperature measurement result data

Time	Case1			Case2		
	Average			Average		
	T <sub>o</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>si</sub>	T <sub>o</sub>	T <sub>i</sub>	T <sub>si</sub>
0:00	5.9	20.2		5.4	20.7	
1:00	5.0	19.9		4.4	20.3	
2:00	4.3	19.7		4.1	19.9	
3:00	3.6	19.5		3.4	19.5	
4:00	2.9	19.2		2.7	19.2	
5:00	2.6	19.0		1.6	18.8	
6:00	2.7	18.8		1.5	18.5	
7:00	3.2	18.6		1.5	18.2	
8:00	5.6	18.6		4.3	18.6	
9:00	7.9	18.8		7.1	19.3	
10:00	10.4	19.7	18	9.0	18.7	16.9
11:00	12.2	20.0		11.2	24.7	
12:00	13.4	20.4		13.1	26.2	
13:00	14.4	20.7		14.7	27.2	
14:00	15.6	21.0		15.7	27.8	
15:00	16.0	21.2		16.2	27.3	
16:00	16.1	21.3		15.7	26.0	
17:00	15.7	21.4	19.3	15.2	25.1	23.3
18:00	14.5	21.2		14.3	24.5	
19:00	12.0	20.9		12.2	23.7	
20:00	9.9	20.6		9.9	23.2	
21:00	8.3	20.3		8.5	22.7	
22:00	7.3	20.1		7.2	22.2	
23:00	6.1	19.8		6.1	21.7	

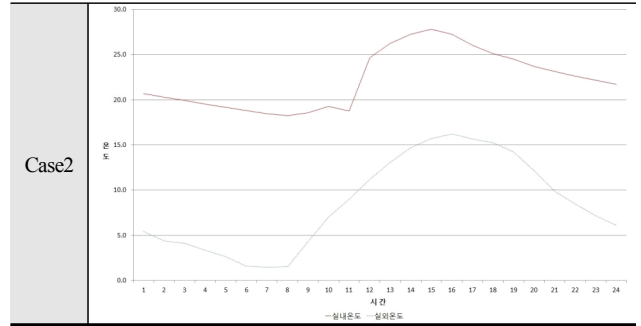
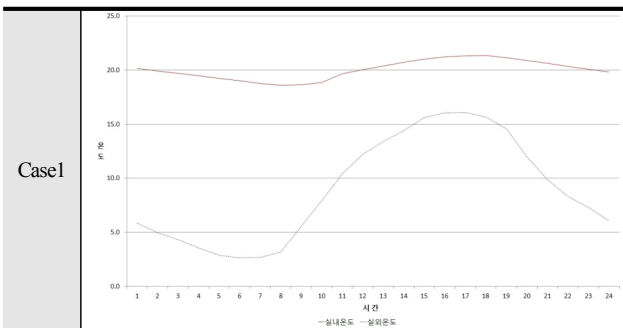


Fig. 2. The graph on average temperature measurement result

Table 10. The thermal burn on temperature measurement result

Division	Case1	Case2
Average internal surface temperature	 18 °C	 16.9
	 19.3 °C	 23.3

### 4.3. 온실을 통한 난방효과 분석

Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)의 실외 온도 차이는 0~1.7 °C이며, 평균 0.5 °C의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이를 통해 Case1과 Case2가 매우 흡사한 외부 온도 조건에서 이루어진 실험 결과임을 확인할 수 있다. 이를 바탕으로 Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)의 실내 온도 변화를 비교한 결과 온도 변화 구간을 크게 세 가지로 나눌 수 있었다.

첫째, 온실열 획득 구간(오전 10시~오후 2시)이다. 이는 오전 10시경 Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방) 모두 실내 온도가 19.7 °C로 동일해지는 지점을 기점으로, Case2(창문 개방)의 실내 온도가 급상승하여 최고온도를 기록하는 오후 2시(27.8 °C)까지의 구간을 말한다. 이 구간에서 Case1(창문 미개방)의 경우 실내 온도가 1.3 °C 상승한 반면 Case2(창문 개방)의 경우 8.1 °C 상승하였다. 결국 Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)에서 각자 상승한 실내 온도의 차이가 순수 온실의 열이 실내로 공급됨으로써 내부 온도가 상승한 수치라고 볼 수 있으며, 본 실험 결과 온실의 열을 통해 해당 건물의 실내 온도를 최고 6.8 °C 상승시키는 효과를 얻었다.

둘째, 획득열 유지 구간(오후 2시~ 다음날 오전 4시)으로, 온실의 열을 획득하여 실내 최고 온도를 기록하게 되는 오후 2시(27.8 °C)부터 이후 지속적인 실내 온도의 하락을 보이다 Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)의 실내 온도가 같아지는 다음날 오전 4시(19.5 °C)까지의 구간을 말한다. 본 실험 결과 오전 10시~오후 2시까지 획득한 온실의 열이 모두 손실되는데 총 14시간이 소요되었다.

셋째, 비난방 구간(오전 4시~오전 10시)으로, 온실을 통해 획득

특한 열이 모두 손실된 오전 4시부터 온실을 통한 열 획득이 가능한 오전 10시까지의 구간을 말하며, 본 실험 결과 난방이 이루어지지 않는 시간이 총 6시간인 것으로 나타났다.

Case1(창문 미개방)과 Case2(창문 개방)에서의 평균 실내 표면 온도의 변화(오전 10시~ 오후 5시)를 분석한 결과 Case1(창문 미개방)의 경우 1.3 °C, Case2(창문 개방)의 경우 6.4도 상승한 것으로 나타났다. 결국 온실의 열을 난방에 이용함으로써 공기의 온도뿐만 아니라 구조체의 온도까지 평균 5.1 °C 상승시키는 것으로 나타났다.

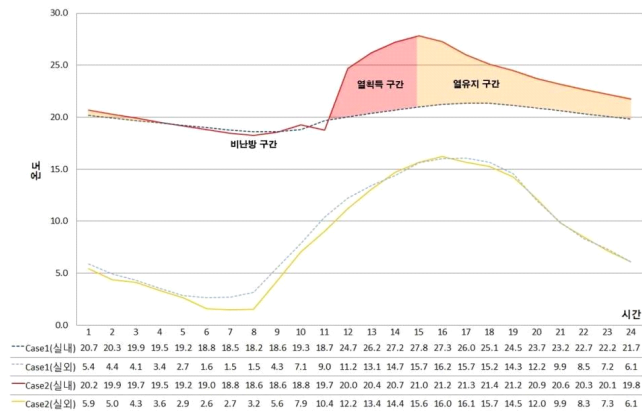


Fig. 3. The graph on heating effect comparison analysis through greenhouse

### 5. 결론

전 세계적으로 기후변화에 대응하기 위해 온실가스 배출량 감소나 재난방지·대비 등에 대한 움직임이 활발해지고 있으며, 국내에서는 온실가스 배출량 감소를 위해 온실가스 배출량의 1/4을 차지하는 건물부분의 배출량을 감소하고자 2017년까지 패시브하우스, 2025년까지 제로에너지 하우스를 목표로 건물의 에너지 성능 기준을 강화하고 있다. 제로에너지 하우스 목표를 달성하기 위해서는 우선적으로 건물의 에너지 성능을 높이고, 건물에너지 사용량의 상당량을 차지하는 냉·난방에너지를 대체할 수 있는 신재생에너지의 개발이 반드시 필요하다.

이에 본 연구에서는 저에너지 건물의 전면 온실을 구성하여, 태양열에 의해 데워진 온실의 열을 실내 난방에 이용하였을 때의 난방효과를 분석하였다. 그 결과 실내 온도를 최고 평균 27.8 °C까지 상승시켰고, 온실의 열을 난방에 사용하지 않았을 때 보다 최고 평균 6.8 °C 상승시켰으며, 실내 표면 온도 평균 5.1 °C 상승시킨 것으로 나타났다. 이는 3~4월의 경우 온실 열의 난방 활용가능성을 보여주는 결과로 판단되고, 저에너지하우스나 패시브하우스와 같은 에너지 저감형 건물의 경우 겨울철 18~20 °C를 유지하기 때문에 겨울철에도 온실 열을 이용한 난방 활용 가능성이 있다고 판단되며, 추후 연구에서는 집중 난방기간인 12월~2월 기간의 실험을 진행할 예정이다. 하지만 본 연구결과에서도 볼 수 있듯이 태양열을 많이 획득할 수 있는 낮 시간과 태양열을 획득하지 못하는 밤 시간의 실내 온도 격차가 크고, 날씨

가 흐린 경우 충분한 난방효과를 얻지 못한다는 것은 본 연구의 한계이다. 이에 낮 시간 동안 최대한의 열을 획득할 수 있도록 온실의 열을 증폭시킬 수 있는 2차 가열장치, 열을 저장하여 이용할 수 있는 축열탱크, 필요한 만큼의 열을 조절하여 공급할 수 있는 공급 장치 등의 기술을 온실과 접목한다면 효과적인 난방이 가능할 것으로 판단되며, 현재 관련 연구가 진행 중에 있다. 또한 여름철 패시브 냉방을 위한 연구로 온실에서 기화된 열을 응축시키는 과정에서 기화열을 회수하여 냉방에 이용하는 방식과 현재 Mock-up건물 옆 지하에 매설되어 있는 빗물저장탱크 안의 빗물을 환풍기 중간에 뿜어 실내로 유입되는 공기의 온도를 낮추는 냉각 방식 등에 대한 연구가 진행 중에 있다.

### Reference

- [1] H.J.J. Janssen, Th.H. Gieling, S.L. Speetjens, J.D.Stigter and G. van Straten, Watery, towards a closed greenhouse in semi-arid regions: infra structure for process control, Acta Horticulturae.
- [2] M. Buchholz, P. Jochum and G. Zaragoza. Basic water(2005), heat and food supply from a closed greenhouse – The Watery Project, Acta Horticulturae.
- [3] M. Buchholz, R. Buchholz, P. Jochum, G. Zaragoza and J. Pérez-Parra(2006), Temperature and Humidity Control in the Watery Greenhouse. Acta Horticulturae.
- [4] M. Buchholz, P. Jochum and G. Zaragoza, Basic water, heat and food supply from a closed greenhouse— The Watery project. Acta Horticulturae
- [5] Grün cool—Gebäudeklimatisierung durch Verdunstungsleistung von Pflanzen, FLL Fachtagung Innenraum Begrünung Gartenbauzentrum Essen 25.-26. November 2009
- [6] PROJECT WATERGY: A CLOSED GREENHOUSE FOR MINIMIZED WATER CONSUMPTION AND OPTIMIZED SOLAR ENERGY USE, CIES 2006, 2006.11.10
- [7] Towards Model Based Adaptive Control for the Watery Greenhouse-Design and Implementation, 2008.06.23.
- [8] 유동완 외 2인(2014). 건축물에서의 빗물활용을 통한 냉난방에너지 저감 사례 연구. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제14권 제1호, p.118-119
- [9] 유동완 외1인(2015). 온실을 통한 건축물 에너지 자립 시스템 효과분석. 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 제15권 제1호, p.62-63
- [10] 국가 온실가스 인벤토리 보고서(2015), 온실가스종합정보센터