

# 제로카본 그린홈 구현을 위한 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 분석

주흥진\*, 이경호\*\*, 곽희열\*\*\*

\*인하대학교 기계공학과 대학원(joo@kier.re.kr),  
\*\*한국에너지기술연구원(khlee@kier.re.kr),  
\*\*\*한국에너지기술연구원(hykwak@kier.re.kr)

## Thermal Performance Analysis of Hybrid heat Supply System for Zero Carbon Green Home

Joo, Hong-Jin\* Lee, Kyoung-Ho\*\* Kwak, Hee-Youl\*\*\*

\*Dept. of Mechanical Engineering, Inha University(joo@kier.re.kr),  
\*\*Korea Institute of Energy Research(khlee@kier.re.kr),  
\*\*\*Korea Institute of Energy Research(hykwak@kier.re.kr),

### Abstract

This study was carried out to evaluate thermal performance of the renewable hybrid heat supply system with solar thermal system and wood pellet boiler for Zero Carbon Green home of apartment houses.

The hybrid heat supply system was set up at Korea Institute Energy Research in 2011. The system was comprised of the wood pellet boiler unit with heat capacity designed as 20,000 kcal/hr, a 0.15 m<sup>3</sup> hot water storage tank for space heating, a evacuated tubular solar collector 3.74 m<sup>2</sup> of aperture area at the 20° install angle, a 0.3 m<sup>3</sup> hot water storage tank.

Thermal performance tests for one-house of apartment house were carried out by hot water load and heating load in winter season through the hybrid heat supply system. As a result, hot water energy supplied by the hybrid heat supply system was 11kWh in a day. Solar thermal energy portion was 2.99kWh which is 27% of the total hot water energy supply. wood pellet boiler supply portion was 8.017kWh which is 73% of the total hot water energy supply.

Keywords : 그린홈(Green home), 제로카본(Zero carbon), 태양열급탕(Solar domestic hot water), 집열기(Solar collector), 목재펠릿(Wood pellet)

## 1. 서 론

21세기 들어 전세계 건축시장은 궁극적으로 화석연료를 전혀 사용하지 않는 제로카본 그린홈의 개발에 집중적 노력을 경주하고 있다. 제로카본 그린홈의 구현을 위해서는 우선 에너지절감 및 효율기술의 체계적 적용을 통해 건물부하의 최소화를 도모한 후, 신재생에너지를 포함한 설비적 기술로 잔여부하를 처리하는 순으로 진행되어야 한다.

주거건물의 경우 난방 및 급탕 등의 열부하가 전체의 70%이상을<sup>1)</sup> 차지하기 때문에 전기부하가 주를 이루는 상업건물에 비해 현재의 기술수준에서는 제로카본화가 상대적으로 용이한 이점이 있다. 현재 국외에서 개발 보급되고 있는 제로카본주택의 대부분은 미국 및 유럽 선진국의 주거유형이 대부분 단독주택 또는 저층 연립형태의 주거건물이기 때문에 이러한 주거유형을 중심으로 제로카본주택기술이 구현되고 있다.

국내에서도 제로카본주택 또는 제로에너지주택에 대한 연구가 2000년부터 활발히 진행되고 있으며, 다양한 형태의 보급모델을 건립하고 실험을 통한 실증데이터를 제시하고 있다. 2002년 12월 및 2009년 4월 완공된 한국에너지기술연구원의 제로에너지솔라하우스(ZeSH)가 대표적 사례이며, 그 외에도 기업 및 민간인들이 패시브하우스 등의 고단열 주택도 다수 시공한 사례가 있다.

또한 정부 차원에서도 주택분야의 에너지공급을 신재생에너지로 대체하여 가정 부문에서의 화석연료 사용량 및 온실가스 발생량을 저감하기 위해 2020년까지 신재생에너지주택(Green Home) 100만호 보급 사업을 시행하고 있다.

이러한 건물의 제로카본화를 위해 건물의

열 및 전기에너지를 대체하기 위하여 적용되는 신재생에너지 중 열 에너지 분야에서 가장 보급이 활발히 이루어지고 있는 것으로 태양열을 이용한 온수시스템을 들 수 있다. 태양열을 이용한 온수시스템은 건물에서 사용되는 열부하(온수급탕 및 난방)를 대체 할 수 있는 에너지원이며, 설치가 간단하고 가격이 다른 신재생에너지에 비해서 저렴하며, 높은 에너지 변환효율 및 이미 기술적으로 입증되었다는 장점이 있다.

본 논문에서는 공동주택의 난방 및 급탕을 위하여 태양열 시스템과 목재펠릿 보일러를 결합한 1세대 수준의 하이브리드 열공급 시스템을 구축하였으며, 공동주택의 1세대 수준의 동절기 난방 및 급탕에 대한 실제 열부하를 적용하여 태양열 시스템과 펠릿 보일러의 연계기술을 위한 기초 분석자료를 확보하고자 한다. 또한 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 분석을 실험적으로 분석하고자 한다.

## 2. 하이브리드 열공급 시스템

### 2.1 하이브리드 열공급 시스템 개요

공동주택의 열공급 시스템을 위하여 재생에너지의 상용화 기술적 수준을 고려하여 가장 적용하는데 있어서 실용적인 기술은 태양열시스템과 목재펠릿 보일러 시스템이라고 할 수 있다. 하이브리드 열공급 시스템은 급탕을 위한 온수는 태양열 시스템을 통해 우선적으로 공급하고 부족한 열에너지는 펠릿 보일러에서 온수를 만들어 공급하도록 하고, 난방을 위해 필요한 열원은 펠릿보일러에서 담당하는 시스템으로 구성하였다. 주로 여름철에 태양일사가 풍부한 기간에는 급탕에너지의 대부분을 태양열시스템으로 공급이 가능하며, 태양일사가 부족한 겨울철에는 펠릿보일러로부터 열에너지를 공급하도록 한다.

하이브리드 열공급 시스템의 경우 실제 요구되는 부하가 없는 점을 감안하여 난방 및

1) 윤종호, 심세라, 신우철, 백남춘, 곽희열, 공동주택의 열부하 및 탄소배출량 저감을 위한 태양열시스템의 최적 적용 방안 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 제31권 제2호, 2011.

급탕 부하에 대해서는 제로카본형 공동주택의 에너지 시뮬레이션을 통해 산출된 부하 값을 적용하였다. 난방부하의 경우 공랭식 열교환기를 사용하였으며, 급탕부하의 경우 실제 시수를 공급하여 배출하는 방식으로 시스템을 설계하였다.

### 2.2 실험장치 구성

제로카본 그린홈 구현을 위한 신재생에너지 하이브리드 열공급 시스템의 연계 기술 개발 및 운전특성을 파악하고자 대전에 위치한 한국에너지기술연구원 내에 위치하고 있는 태양동산에 하이브리드 열공급 실험장치를 구축 하였다. 하이브리드 열공급 시스템은 크게 난방(목재펠릿) 시스템과 급탕(목재펠릿+태양열) 시스템으로 구성되도록 구성되었다.

하이브리드 열공급 시스템의 열부하에 따른 열성능 특성을 실험적으로 분석하기 위한 장치의 개략적인 구성도를 그림 2에 나타내었다. 실험을 위한 설비시스템의 구성요소는 단일진공관형 태양열 집열기 2대, 온수 축열조, 난방 축열조, 펠릿 보일러, 공랭식 열교환기 및 펌프 등으로 구성되었다.



Fig. 1. Hybrid heat supply system

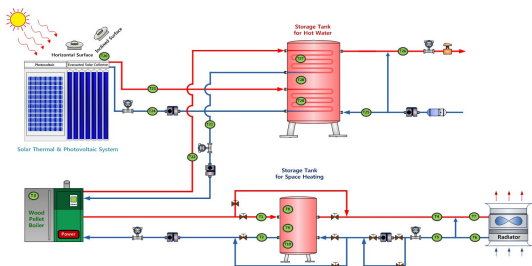


Fig. 2. Schematic diagram of hybrid heat supply system

Table 1. Specification of hybrid heat supply system

Unit		Content
Collector	Type	ETSC
	Aperture area	1.87 m <sup>2</sup>
	number	2
	Angle	20°
Pellet boiler capacity		20,000 kcal/hr
Hot water tank		0.3 m <sup>3</sup>
Space heating tank		0.15 m <sup>3</sup>
Air cooling type heat exchanger		20,000 kcal/hr

본 실험에서의 급탕 부하용 열매체는 물을 사용하였으며, 난방 부하용 열매체는 프로필렌글리콜을 사용하였다. 온도측정에 사용한 센서는 4선식 백금 RTD센서, 5대의 유량계는 Toshiba GF360 전자식 유량계, 일사량

측정은 수평면과 경사면의 전일사량 측정을 위하여 2대를 설치하였다. 데이터의 측정에는 Labview프로그램을 이용하여 측정된 데이터의 저장, 모니터링 및 자동제어를 수행하도록 프로그램을 구축하였으며, 데이터 수집장치로는 HP34970A를 사용하여 5초 간격으로 온도, 유량, 일사 등의 데이터를 저장하도록 구성하였다. 표 1은 하이브리드 열공급 시스템의 주요 구성요소에 대한 사양을 나타내었다.

### 3. 부하산정

제로카본 그린홈을 위한 공동주택에 대한 건물에너지 시뮬레이션 결과 그림 3에 나타난 바와 같이 난방부하는 주로 1월~2월, 11월 말~12월에 발생하며, 급탕부하는 연간 지속적으로 발생한다. 총 열부하에 대한 난방부하의 비율을 살펴보면, 월별로는 하루 중에 총 열부하(급탕과 난방부하의 합)에 대한 난방부하의 비율은 각각 46%(1월), 21%(2월), 23%(12월)로서 평균 30% 정도를 차지하는 것으로 나타났다. 이상과 같은 난방 및 급탕

부하 특성을 이용하여 열공급시스템의 성능 시험을 위한 기준 난방부하 및 급탕부하 모델을 수립하였다.

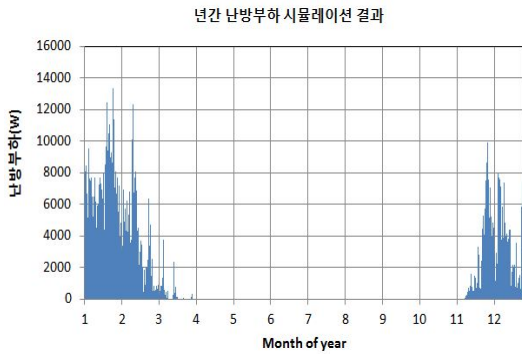


Fig. 3. Space heating load

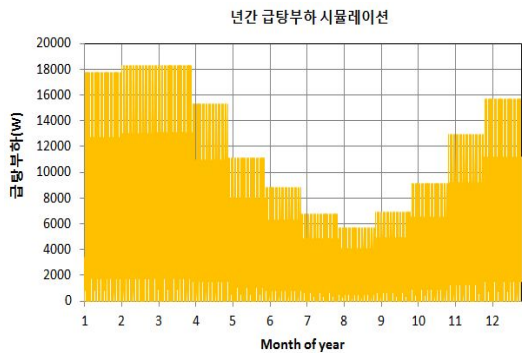


Fig. 4. Hot water load

### 3.1 급탕부하

공동주택의 온수급탕부하는 시뮬레이션을 통해 계산되어진 공동주택의 급탕부하 값 및 11개의 공동주택을 대상으로 한 계절별 열사용 특성을 분석한 정<sup>2)</sup>의 연구결과를 이용하여 본 연구를 위한 하루 중 시간대별로 급탕부하 패턴을 도출하였다. 오전 8시에서 10시 사이에 피크 급탕부하가 나타나고 저녁 10시부터 새벽 6시까지의 매우 작은 부하가 발생

2) 정상용, 지역난방 공동주택에서의 급탕량 및 열 소비특성에 관한 연구 - 경기도 고양시 사례연구, 서울산업대학교 주택대학원, 공학석사 학위논문, 2005.

하는 형태를 갖는다. 시뮬레이션에 사용된 급탕부하 패턴의 경우, 하루 중 시간대별 급탕부하를 최대급탕부하로 나누어준 부하(0-1 값)으로 표현하였고, 매달 급탕부하 패턴은 동일하다. 그림 5는 공동주택의 하루 중 급탕부하 패턴을 나타낸 것이다.

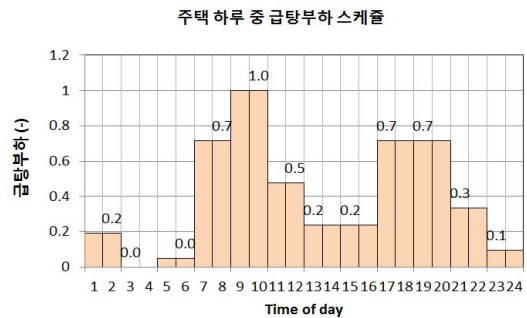


Fig. 5. Hot water pattern in a day

### 3.2 난방부하

제로카본 그린홈을 위한 공동주택에 대한 건물에너지 시뮬레이션 결과를 이용하여 동절기 1, 2, 12월 달의 일일 난방부하 값을 일일 시간대별 난방 부하 값으로 단순화 하였다. 그림 6은 동절기 1월, 2월, 12월 달의 시간대별 일일 난방부하 값을 나타낸 것이다.

공동주택의 제로카본 그린홈을 위한 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 시험을 위한 급탕 및 난방 부하는 시험 결과 값의 정확성 및 신뢰성 확보 그리고 시험의 반복적인 구현을 위하여 가능한 단순화시킨 대표적인 형태의 부하 모델이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 동절기에 해당하는 1월, 2월, 12월 달의 부하패턴의 평균을 이용하여 부하모델을 결정하였으며, 이러한 평균적인 부하 패턴을 토대로 단순화모델을 도출하였다. 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 시험을 위한 1세대 수준의 급탕 및 난방부하 모델을 그림 7에 나타내었다. 1세대에 대한 연면적은 99m<sup>2</sup>를 적용하였다. 급탕부하와 난방부하가 동시에 발생하는 시간대는 저녁 11시부터 오전 2시, 그

리고 오전 7시부터 오전 9시까지의 기간이며, 나머지 시간대에는 급탕부하만 발생하도록 단순화하였다.

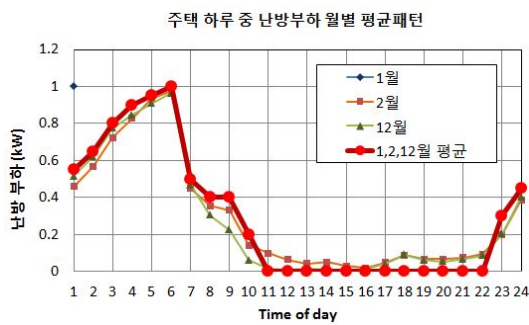


Fig. 6 Space heating load in 1, 2, 12 month

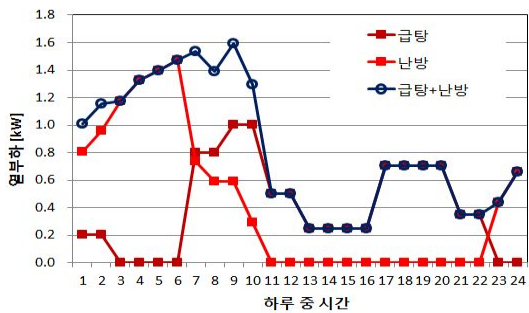


Fig. 7. Simple load model of hot water and space heating

#### 4. 실험 결과 및 분석

제로카본 그린홈 공동주택의 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 분석을 위하여 동절기 공동주택의 급탕 및 난방 열부하 모델을 적용하여 하이브리드 열공급 시스템의 열성능 분석을 실험적으로 규명하고자 하였다.

급탕 및 난방 열부하는 공동주택의 동절기 1세대 부하조건으로 실험적 운전을 실시하였다. 급탕부하의 경우 축열조에서 급탕부하 측으로 공급되는 온수의 온도는 40°C로 일정하게 유지 위하여 축열조 상부에서 공급되는 온수와 축열조 하부로 유입되는 시수를 혼합시킬 수 있는 컨트롤 밸브를 이용하여 온수의

온도를 일정하게 공급하도록 하였으며, 또한 자동제어 방식을 이용하여 각각 시간대별 급탕부하 열량 값에 도달 하는 방식으로 실험을 실시하였다.

난방부하의 경우 난방에 공급되는 열매체의 온도는 45°C로 고정하기 위하여 방열기에 공급되는 고온의 열매체와 방열기를 통과하고 낮은 온도로 회수되는 저온의 열매체 일부를 컨트롤 밸브를 이용하여 혼합하여 난방부하에 공급되는 열매체의 온도는 45°C를 유지하도록 시스템을 운영하였다. 또한 급탕부하와 마찬가지로 자동제어 방식을 사용하여 각각 시간대별 난방부하 열량 값에 도달 시키는 방식으로 실험을 실시하였다.

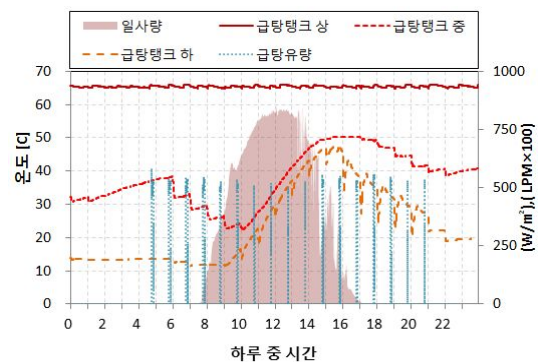


Fig. 8. Insolation and temperature in hot water tank

그림 8은 2011년 12월 13일 하이브리드 열공급 시스템의 시간별 급탕탱크 내부 온수 온도분포, 일사량 및 급탕부하에 공급된 유량을 나타낸 것이다. 12월 13일의 일일 평균 일사강도는 집열기 설치 경사각과 동일 20°에서 오전 8시부터 오후 5시까지 평균 529W/m²으로 나타났으며 이날 오전 0시부터 오후 24시까지 일평균 외기온도는 2.1°C로 나타났다.

급탕탱크 내부에 설치되어 있는 태양열 열교환기는 급탕탱크 중단부터 하단까지 설치되어 있으며 그림 9에서 보는 바와 같이 일사량이 증가하는 오전 9시부터 집열기가 작동하여 급탕탱크 중단 및 하단의 온도를 승온

시키는 것을 알 수 있다. 급탕탱크 상단의 온도는 펠릿보일러를 통해 60℃ 이상을 유지 시키도록 시스템을 설정 하였으며 시간대별급탕부하에 따라서 급탕 축열조로부터 온수가 공급되는 것을 알 수 있다.

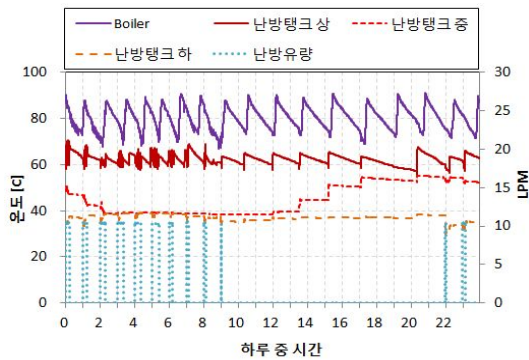
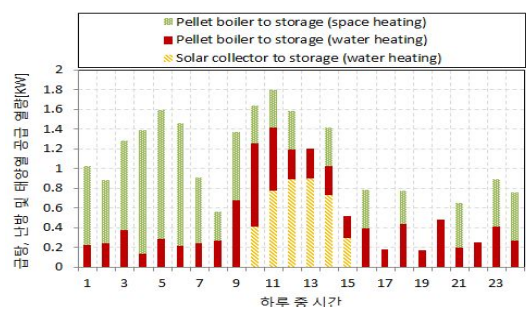


Fig. 9. Temperature in hot water tank boiler and heating flow rate

그림 10은 동일한 날의 난방탱크 내부 온수 온도분포, 펠릿 보일러 내부온도 및 난방공급유량을 나타낸 것이다. 난방탱크는 급탕탱크와 달리 열공급은 펠릿 보일러를 통해서만 공급되며 난방 탱크의 상단온도를 60℃ 이상 유지할 수 있도록 실험조건을 설정하였다. 그림에서 보는 바와 같이 난방탱크의 상단 온도는 난방부하가 생길 경우 그에 따라서 온도 변화가 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 난방부하가 없는 낮 시간에도 탱크 내부의 온도변화가 생기는 것은 탱크 자체의 열손실에 의하여 펠릿보일러가 작동되는 것이다. 이러한 불필요한 펠릿 보일러의 작동을 막기 위해서는 부하가 없는 낮 시간에는 펠릿 보일러의 작동을 정지시키거나 또는 부하 없이 열손실에 의해서 낮아지는 탱크 내부의 온도를 감지하여 펠릿 보일러의 작동을 사전에 차단시키는 방법이 필요할 것으로 사료된다.

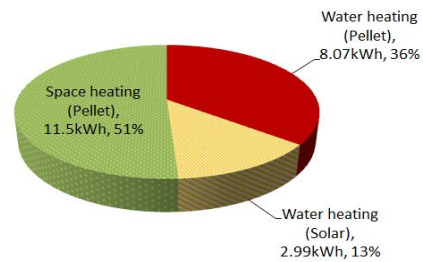
그림 10은 2011년 12월 13일 하이브리드 열공급 시스템을 통해 공급된 난방열량, 급탕급탕 및 태양열을 통해 공급받은 에너지 분포도

를 나타낸 것이다. 이날 난방 및 급탕에 공급된 열량은 19.57 kWh이며 이중 난방 열량이 11.5 kWh급탕 열량 8.07kWh이며, 급탕 열량의 경우 태양열 시스템을 통해 공급된 열량은 2.99 kWh로 분석되었다. 태양열 시스템이 하이브리드 열공급 시스템에서 급탕부하에 차지하는 비율은 27%이며 73%는 펠릿보일러를 통해 열을 공급받는 것으로 분석 되었다.



(A)

■ Water heating (Pellet) ■ Water heating (Solar) ■ Space heating (Pellet)



(B)

Fig. 10. Heat supply in a day

## 5. 결론

본 논문은 제로카본 그린홈 공동주택을 위한 하이브리드 열공급 시스템의 동절기 난방 및 급탕 열부하에 따른 열성능을 분석하기 위하여 목재펠릿 보일러와 태양열 시스템을 결합한 하이브리드 열공급 시스템을 구축하였으며, 공동주택 1세대 수준의 일일 난방 및 급탕 부하를 설정하여 그에 따른 운전시험을 실험적으로 수행하였다.

본 논문에서는 실험결과 분석을 통하여, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 공동주택의 하이브리드 열공급 시스템의 열성능을 실험적으로 규명하기 위한 급탕 및 난방 부하를 단순화시킨 대표적인 형태의 부하 모델을 도출하였다.
- (2) 동절기 일일 하이브리드 열공급 시스템을 통해서 공급된 총 열량 22.56kWh 중 난방 열량 11.5kWh, 급탕 열량 11.06kWh이며, 급탕 부하에서 태양열 시스템으로 공급된 열량은 2.99kWh로 일일 총 열부하의 약 13%, 급탕 부하의 27%를 담당할 수 있는 것으로 분석되었다.
- (3) 태양열 시스템과 펠릿보일러를 연계하여 시스템을 구축할 경우 축열조 탱크 자체의 열손실에 의한 불필요한 펠릿 보일러의 작동을 방지하는 대책이 필요하다.
- (4) 펠릿 보일러의 불필요한 작동을 막기 위해서는 부하가 없는 낮 시간에는 펠릿 보일러의 작동을 정지시키거나 또는 부하 없이 열손실에 의해서 낮아지는 탱크 내부의 온도를 감지하여 펠릿 보일러의 작동을 사전에 차단시키는 방법이 필요하다.

## 후 기

본 연구는 산업기술연구회의 연구비지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다. (과제 번호 : NP2009-0100)

## 참 고 문 헌

1. Yoon, J.H., et al, A Study on the Optimum Application Method of Solar Thermal System to reduce Thermal Load and Carbon Emission in Apartment Building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 2, 2011. 4, pp. 135~142
2. Jung, S.W., A Study on the Characteristics of Hot Water Supply Consumption in Apartment Housing with District Heating System - In the Case Study of Goyang City Only-, Seoul National University of Technology, Graduate School of Housing, 2005.
3. Lee, K.H., et al., A Study on the Optimum Application Method of Solar Thermal System to reduce Thermal Load and Carbon Emission in Apartment Building, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 2, 2012. 4, pp. 19~27
4. KS, KS R ISO 9806-1:2003, Test Method for Solar Collectors, 2003
5. Labview, National Instruments.
6. J.A.Duffie and W.Beckman, Solar engineering of thermal processes, Third edition, John Wiley & Sons, 2006