콤팩트형 태양열/지열히트펌프 하이브리드 냉난방 및 급탕 시스템 개발 및 성능분석

백남춘*, 정선영**, 윤응상***, 이경호****

*한국에너지기술연구원(baek@kier.re.kr), **한국에너지기술연구원(jizja@kier.re.kr),
한국에너지기술연구원(yoon@kier.re.kr), *한국에너지기술연구원(khlee@kier.re.kr)

The Development and Performance Analysis of Compact Type Solar Thermal/Ground Coupled Heat Pump Hybrid System for Heating, Cooling and Hot water

Baek, Nam-Choon* Jeong, Seon-Yeong** Yoon, Eung-Sang*** Lee, Kyoung-Ho****

*Korea Institute of Energy Research(baek@kier.re.kr), **Korea Institute of Energy Research(jizja@kier.re.kr),
Korea Institute of Energy Research(yoon@kier.re.kr), *Korea Institute of Energy Research(khlee@kier.re.kr)

Abstract

In this study, the compact type solar thermal and ground coupled heat pump hybrid system for space heating/cooling and hot water supply has been developed. This hybrid system was installed in Zero Energy Solar House(ZeSH) in KIER for the demonstration. The thermal performance and operational characteristics of this hybrid system were analysed especially. The results are as follows.

(1) This hybrid system was designed in order to address the existing disadvantages of solar thermal/ground coupled heat pump system. For this design, all parts except solar collector and ground coupled heat pump were integrated into a single product in a factory. The compact type unit includes two buffer tanks, an expansion tank, pumps, valves, a controller, etc. This system has an advantage of easy installation with simple plumbing work even in narrow space. (2) The thermal charging and discharging time of the buffer tanks and its characteristics by ground coupled heat pump, and heat pump COP according to geo-source temperature and buffer storage temperature have been studied. This system was found to meet well to the heat load without any other auxiliary heating equipment. (3) The operating hours of the ground coupled heat pump as a backup device of solar thermal can be reduced significantly by using solar heat. It was also found that the minimum heating water supply setting temperature and maximum cooling water supply setting temperature make an influence on the heat pump COP. The lower heating water and the higher cooling water temperature, the higher COP.

In this respect, the hybrid system's performance can be improved in ZeSH than conventional house.

Keywords : Compact Type Solar Thermal/Ground Coupled Heat Pump Hybrid System(콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템), Space Heating/Cooling and Hot Water(냉난방 및 급탕), Zero Energy Solar House(제로에너지 솔라하우스)

기 호 설 명

- $T_{c,o}$: Collector outlet temperature [°C]
 $T_{bt,m}$: Temperature of the middle part of the buffer tank [°C]
 $T_{bt,l}$: Temperature of the lower part of the buffer tank [°C]
 $T_{st,m}$: Temperature of the middle part of the hot water storage tank [°C]
 ΔT_s : Temperature difference between $T_{c,o}$ and $T_{bt,l}$, [°C]

1. 서 론

건물에서의 에너지 소비를 줄이기 위한 노력이 미국, 유럽 등¹⁾ 선진국을 중심으로 빠른 속도로 진행되고 있다. 우리나라도 2008년 정부의 저탄소 녹색성장 선언²⁾ 이후 강력한 그린홈 보급정책에 따라 매우 급박한 시장 대응력을 요구받고 있는 실정이다. 또 2009년 녹색성장위원회 보고³⁾에서 주거용 건물의 연간 에너지 소비량은 2012년까지 현 수준 대비 30%(그린홈), 2017년에는 60%(패시브하우스), 2025년에는 제로에너지를 의무화(제로에너지하우스)로 단계별 기준이 강화되는 로드맵을 제안 등 최근 일련의 연구방향은 에너지 자립형 건물에 초점이 맞춰지고 있다.

이에 한국에너지기술연구원(KIER)에 주택 부하구성비에 맞는 건물에너지 저감기술과 신재생에너지 기술을 조합하여 체계적으로 대부분의 에너지를 자급하는 주택인 제로에너지 주택(이하 ZeSH)을 개발하여 실증 시험용 모델을 건립하였다. 에너지 자립형 주택에

서는 가능한한 화석에너지 사용 없이 아주 적은 운전비용으로 냉난방 및 급탕공급이 가능해야 한다. 이러한 목적으로 선행연구⁴⁾를 통해서 개발된 것이 태양열과 지열이 복합된 “태양열/지열 하이브리드 냉난방 및 급탕시스템”이다. 이 시스템은 처음으로 ZeSH에 적용되어 실증시험을 통해 에너지 자립을 위한 효용성을 입증하였다.

태양열 지열하이브리드 시스템은 태양열시스템과 지열히트펌프 시스템이 혼합된 것으로 시스템 구성이 복잡하기 때문에 그린홈과 같은 에너지 자립형 주택에 본 시스템을 보급 및 확대를 위해서 Factory Made형으로 콤팩트하게 만들어 져야 한다. 이에 본 연구에서는 이러한 목적으로 개발된 콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템을 소개하고 실증시험을 통해 작동성능을 파악하고자 한다.

2. 시스템 개요

2.1 시스템 구성

주택에 적용 가능한 신재생열공급시스템은 주로 태양열과 지열히트펌프시스템이다. 이 태양열과 지열히트펌프시스템 모두 버퍼탱크를 필요로 한다. 태양열시스템은 운전비용이 거의 들지 않으나 태양열이 부족하거나 없을 때 공급하기 위한 백업설비를 반드시 필요로 하며, 지열히트펌프시스템은 냉난방이 가능한 고효율 기기이기는 하지만 히트펌프 구동 에너지로 적지 않은 전기에너지를 필요로 한다. 따라서 이러한 두 가지 시스템의 장단점 및 특징을 감안할 때 버퍼탱크를 중심으로 두 시스템이 결합된다면 적은 전기에너지로 별도의 화석에너지 사용 없이 냉난방 및 급탕공급이 가능하게 된다.

1) Passive House Conference 2011,

<http://www.passivehouse.us/passiveHouse/PHIUSHome.html>

2) 저탄소 녹색성장(Green Growth) : 2008년 8월 15일 정부에서 제시한 국가 비전으로 청정에너지와 녹색기술을 통하여 에너지 자립을 이루고, 신성장 동력과 일자리를 창출하겠다는 개념

3) 그린홈 제로에너지화 로드맵 : 2009년 11월 5일 대통령 직속 녹색성장위원회 6차 회의 국토해양부 보고

4) Nam-Choon B., et al, A Study on the Operating Characteristics of Solar Collecting System in Solar Thermal/Geothermal Hybrid System with Facade Integrated Solar Collector, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 5, 2010. 10, pp. 69~76

Fig. 1 The schematic of solar thermal/ground coupled heat pump hybrid system

태양열/지열 하이브리드 시스템은 태양열을 집열하는데 에너지가 거의 안드는 태양열을 최대한 집열 및 활용할 수 있도록 시스템이 구성되어야 하며, 또한 좁은 장소에 용이하게 설치 가능하도록 콤팩트하게 제작 될 수 있어야 한다. 이러한 측면을 고려한 시스템 구성도는 Fig. 1에 있는 바와 같다. 시스템은 태양열 집열기, 지열히트펌프 외에 급탕전용 축열조와 냉난방용 축열조(하절기는 냉축열조, 비하절기에는 난방축열조), 그리고 펌프, 팽창탱크, 밸브 및 안전장치, 제어장치 등으로 구성된다.

2.2 시스템의 작동

시스템의 작동은 냉방기간과 비냉방기간으로 구분된다. 비 냉방기간에는 집열기에서 승온된 집열매체는 열교환기를 통과하면서 일차로 급탕축열조를 가열하고 난후 이 열매체의 온도가 난방 축열조보다 일정온도 이상 높으면 난방축열조를 통과하면서 다시 난방축

열조를 가열한후 집열기로 간다. 그러나 급탕 급탕축열조를 통과하고 나오는 열매체 온도가 난방축열조 온도보다 일정온도 이상 높지 않으면 바로 집열기로 들어가게 된다. 이것은 배관내에 설치된 전동밸브에 의해서 제어된다. 태양열 백업용으로 작동되는 GCHP는 급탕축열조 중상단부 온도가 설정온도 이하이거나 난방축열조 온도가 설정온도 이하이면 작동이 된다. 이 두 축열조 중 항상 급탕축열조를 우선으로 가열하게 된다.

냉방기간에는 난방축열조는 냉수축열조로 바뀌게 되며, GCHP에 의해 냉각된다. 따라서 이 기간에는 태양열은 급탕축열조만 가열한다. 냉방기간에는 급탕부하가 작음에도 집열면적이 충분히 크기 때문에 일사량이 어느정도 이상이면 태양열 축열조는 항상 높은 온도를 유지하게 된다. 따라서 일사량이 수일동안 없다 하더라도 적은 온수부하를 감당하는데는 거의 문제가 없을 것으로 예상되어 GCHP는 냉방모드로만 작동된다.

2.3 콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템 시제품 제작

일반적인 태양열/지열 하이브리드 시스템을 설치하기 위해서는 상당히 넓은 기계실 공간을 필요로 한다. Fig. 2는 태양열/지열 하이브리드 시스템이 설치된 현장 사진을 보여주고 있다. 시스템이 복잡할 뿐만 아니라 넓은 면적의 기계실을 필요로 하기 때문에 주택용으로 활용하는데 제한이 있을 수밖에 없다. 따라서 좁은 장소에 그리고 간단한 배관작업으로 설치가 가능하도록 시스템을 콤팩트화

Fig. 2 Before the change(pervious studies) is installed on the system and machine room

Fig. 3 Developed compact solar thermal/ground coupled heat pump hybrid system

시켜야 한다. 이러한 목적으로 개발된 패키지화된 콤팩트형 축열장치는 Fig. 3과 같다. 이 시스템은 기존의 시스템 용량과 동일하도록 제작되었으며, 시스템의 상세 제원은 Table 1과 같다.

Table. 1 The specifications of the compact type thermal storage system

Item	Specifications	Remarks
Collector	25m ²	Facade integrated solar collector
Buffer tank	800 L	- Heating & Cooling - Solar heat exchanger built into the lower of the tank
Hot water storage tank	400 L	- Solar heat exchanger built into the lower of the tank - Heat exchanger of Ground coupled heat pump built in the upper tank
Ground coupled heat pump	2.5 RT	- Backup system for solar thermal - In summer for cooling
Underground heat exchanger	150m	vertical type
Heat exchanger in storage tank		- Stainless steel corrugated flexible - Located in the middle and lower of the tank
Controller		- Solar thermal : temperature control - Heat Pump : the first heating system of hot water storage tank, controlled by storage tank temperature

2.4 시스템 제어

(1) 태양열시스템 제어

태양열시스템은 급탕축열조를 우선 가열하고 난후 온도 조건에 따라 버퍼탱크를 가열할 수도 있다. 태양열시스템 제어는 집열부 상단부 출구온도($T_{c,o}$)와 버퍼탱크 하단부 출구온도($T_{bt,i}$)와의 차(ΔT_s)로 집열열매체순환펌프의 On/Off를 제어하는 차온 제어방식으로 다

음과 같다.

- 펌프가 Off 상태일 때,
 $\Delta T_s > 15^\circ\text{C}$ 이면, pump ON
 $\Delta T_s \leq 15^\circ\text{C}$ 이면, 계속 pump Off
- 펌프가 On 상태일 때,
 $\Delta T_s < 4^\circ\text{C}$ 이면, pump On
 $\Delta T_s \geq 4^\circ\text{C}$ 이면, 계속 pump Off

(2) 지열히트펌프시스템 제어

지열히트펌프의 제어는 냉난방공급시에는 버퍼탱크의 중단부($T_{bt,m}$) 설정온도에 따라 펌프 On/Off를 제어하고, 급탕공급시에는 급탕축열조의 중상단부($T_{st,m}$) 설정온도에 따라 펌프 On/Off를 제어하는 차온 제어방식으로 다음과 같다.

- a) 난방공급시(비냉방기간)
 - 펌프가 Off 상태일 때,
 $T_{bt,m} < 37^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 On
 - 펌프가 On 상태일 때,
 $T_{bt,m} > 50^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 Off
- b) 냉방공급시
 - 펌프가 Off 상태일 때,
 $T_{bt,m} > 10^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 On
 - 펌프가 On 상태일 때,
 $T_{bt,m} < 5^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 Off
- c) 급탕공급시
 - 펌프가 Off 상태일 때,
 $T_{st,m} < 42^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 On
 - 펌프가 On 상태일 때,
 $T_{st,m} > 52^\circ\text{C}$ 이면, 히트펌프 Off

냉방기간에는 태양열집열기는 급탕축열조만 가열하게 된다.

3. 실증 시험 및 성능 분석

3.1 실증 시험 개요

ZeSH는 주간에는 주로 업무 및 회의용도

로 사용하고 있고, 야간에는 사람이 거주하지 않는 상태로 운영하고 있다. 실내 온도설정은 동절기는 23°C , 하절기는 26°C 로 하였다. 온수 공급은 매일 오전과 오후에 각각 150 L(총 300 L/day)의 온수를 자동밸브와 타이머를 사용하여 강제 배출하였다. 모든 데이터는 1분 간격으로 PC에 저장하도록 하였다.

측정용 온도센서는 급탕축열조에 상, 하단부, 버퍼탱크에 등간격으로 3개를 설치하였으며, 각 열매체 순환회로에 전자식 질량유량계, 수평, 수직, 경사면 및 집열면에 각각 일사량계를 설치하였다. 집열기 및 탱크에 연결된 모든 배관의 입출구의 열매체 온도 측정을 위해 온도센서를 설치하였다.

3.2 시스템 성능 분석

(1) 태양열시스템

태양열 집열시스템으로부터 온 고온의 집열매체는 항상 급탕축열조를 우선 가열하고 난후 열매체의 온도와 버퍼탱크의 온도 차에 따라서 버퍼탱크내의 열교환기를 통과하거나 아니면 직접 집열기로 들어가게 된다. 태양열 시스템의 작동상태를 알아보기 위해 일사량이 좋은 날과 일사량의 변화가 크면서 좋지 않은 날 각각에 대해서 작동상태 및 성능을 분석하였다.

Fig. 4는 동절기 태양열 일사량이 좋은 날 하루 동안 집열면 일사량과 태양열시스템의 작동상태, 즉, 펌프의 ON/OFF 상태 및 유량, ON 상태일 때의 집열기 입출구 온도를 나타낸 그림이다. 태양열시스템은 일사량이 많지 않은 아침과 저녁 시간대에 2~3번의 On/Off된 것을 제외하면 거의 하루 종일 지속적으로 작동되었다. 집열기 입출구의 열매체 온도는 일사량 강도에 따라서 $3\sim 9^\circ\text{C}$ 범위내에서 변하였으며, 집열유량은 17 LPM이다. 집열기로 들어가는 열매체의 온도는 오전에 약 40°C 에서 최고 90°C 정도가 되었다. 12시 직전과 오후 3시 경에 집열기로 가는 열매체 온도가 낮

아진 것은 급탕축열조로부터 온수공급이 이루어졌기 때문에 이로 인해 급탕축열조 하단부에 시수가 들어가 열교환기 부근의 온도가 낮아졌기 때문이다.

Fig. 4 Operating status of solar thermal system and vertical radiation (2011. 12. 17)

한편 태양열 일사량이 좋지 않으면서 변화가 심했던 날에 대해서 작동상태에 대한 분석결과를 Fig. 5에 나타내었다. 일사량의 강도에 따라서 태양열시스템의 On/Off 작동이 빈번하게 일어났음을 알 수 있다.

일사량이 전혀 다른 두 날에 대한 운전결과로부터 콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템의 작동이 정상적으로 작동됨을 확인할 수 있다. 이것은 태양열시스템이 백업 역할을 하는 태양열 지열 하이브리드 시스템이 정상적으로 작동됨을 알 수 있는 결과이다.

(2) 지열히트펌프시스템

태양열시스템의 백업용으로 작동되는 지열히트펌프의 작동상태를 모니터링 결과를 이용하여 동절기 난방 및 급탕공급시와 하절기

냉방공급시 각각 하루 동안의 결과에 대하여 성능을 분석하였다.

Fig. 5 Operating status of solar thermal system and vertical radiation (2011. 12. 14)

동절기 분석결과는 다음 Fig. 6~8에 있는 바와 같다. 지열히트펌프는 태양열에 의해서 높아진 버퍼탱크로부터 방열이 일어나기 시작하여 일정온도 이하로 떨어지는 야간에 거의 주기적으로 작동되었으며, 1회 작동시간은 약 90~100분 정도가 되는 것으로 나타났다. 지열히트펌프의 제어는 버퍼탱크와 급탕축열조의 온도에 의해서 이루어진다.

이 차온제어의 On/Off 온도 차를 크게 하면 줄수록 히트펌프의 1회 작동시간은 길어지고, 반대로 작게 하면 줄수록 1회 작동시간은 짧아지면서 히트펌프의 On/Off 작동이 빈번해지게 된다. 따라서 탱크의 용량과 On/Off 설정온도간에 적절한 조정이 이루어져야 한다. 온수급탕 온도는 최저온도를 45℃ 정도는 되어야 하나, 난방용 버퍼탱크 온

도는 난방부하를 충족할 수 있을 정도의 낮은 온도로 설정되는 것이 지열히트펌프의 성능도 높일 수 있게 된다. 참고로 ZeSH의 경우 35 ℃ 정도로도 충분히 동절기 난방부하를 충족시킬 수가 있다.

Fig. 6 Heating and hot water supply and the temperature change of storage tank (2011. 12. 17)

히트펌프의 작동상태 및 성능을 보기 위해 Fig. 6에 나타난 일부구간에 대해서 좀 더 구체적으로 Fig. 7과 8에 나타내었다. Fig. 7은 히트펌프가 작동될 때 응축기 입출구에서의 열매체 온도와 압축기 소비전력을 나타내었다. 버퍼탱크에서 응축기로 들어가는 열매체 온도는 그림에 있는 바와 같이 지속적으로 상승하는 것이 아니라 거의 일정하게 유지되다가 중간에 급격히 상승하여 일정 온도를 유지한다. 이것은 버퍼탱크의 온도 성층화에 의한 영향으로 분석된다. 버퍼탱크의 온도가 처음에는 33 ℃ 이었던 것이 탱크 하단부로부터 히트펌프의 응축기로 공급되어 41 ℃로 상승되어 버퍼탱크 내부 상단부로 들어오면서 축열조의 온도 성층화를 유지하게 된다. 약 50 분 작동되면서 버퍼탱크 하단부까지 41 ℃로 축열되게 된다. 이러한 것이 다시 한 번 반복되면서 축열이 완성된다. 지열열교환기로부터 공급되는 열매체의 온도는 작동 초기에는 10 ℃ 정도에서 점차로 떨어지면서 대략 8 ℃ 정도에서 안정적으로 공급됨을 알 수 있다.

히트펌프의 COP도 Fig. 8에 있는 바와 같이 전반부에는 3.4전후, 후반부에는 2.75전후

Fig. 7 The operational status and electricity of ground coupled at any time (2011. 12. 17)

Fig. 8 The moment COP change of ground coupled heat pump (2011. 12. 17)

가 되는 것으로 나타났으며, 평균 COP는 약 3.1 정도이다. 여기서 히트펌프의 COP의 정의는 다음과 같다.

$$COP = \frac{\text{생산된 에너지}}{\text{압축기에 소비된 에너지}}$$

이상에서 본 것과 같이 지열히트펌프의 COP는 축열온도가 높을수록 낮아지며, 또한 지열열교환기로부터 공급되는 열매체의 온도가 낮을수록 낮아지게 된다. 이러한 이유 때문에 가능한 낮은 온도로 난방이 가능하도록 설계되는 것이 중요하다. 이러한 특성은

태양열시스템과 크게 다를 바가 없다. 따라서 이러한 특성 때문에 태양열/지열 하이브리드 시스템도 가능한한 저온난방이 가능하도록 설계되는 것이 대단히 중요하다.

ZeSH에 설치한 콤팩트형시스템의 하절기 실증 시험 결과를 Fig. 9~10에 나타내었다. Fig. 9는 하루 동안의 지열히트펌프의 작동상태를 나타낸 그림이다. 실내 냉방 설정온도는 26 °C로 하였으며, 히트펌프 On/Off 설정온도는 정상보다 낮은 10/5 °C로 하였다. 그 결과 히트펌프의 1회 작동시간은 약 90분 ~120분 정도가 되는 것으로 나타났다.

Fig. 9 The operation temperature and electricity of ground coupled heat pump (2011. 8. 10)

Fig. 10 The moment COP of ground coupled heat pump (2011. 8. 10)

냉방의 경우에는 지열이 실외기 역할(heat sink)을 하는 것으로 지열열교환기로 들어가

는 열매체의 온도는 초기에는 25 °C에서 시작하여 30 °C까지 증가하며, 지중열교환기를 통과해서 응축기로 공급되는 온도는 20 °C에서 25 °C까지 증가된다. 이때 증발기에서 버퍼탱크(축냉조)로 들어가는 냉수의 온도는 약 6 °C에서 2.5 °C정도이다.

이러한 작동조건하에서 냉방 COP는 그림 10에 있는 바와 같이 3.3~2.5정도로 비교적 낮게 나타났다. 물론 축냉온도를 5 °C로 낮게 설정하였기 때문에 더욱 COP가 낮게 나타났다. 이결과로부터 하절기 냉방의 경우 축냉온도가 낮으면 낮을수록 히트펌프의 성능(COP)은 낮아짐을 알 수 있다. 이러한 이유 때문에 냉방부하를 충족할 수 있는 한도내에서 최대한 높게 설정하는 것이 에너지 측면에서 효율적임을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 운전에너지를 가능한한 최소화시키면서 주택의 냉난방 및 급탕을 신재생에너지로 공급하는 콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 제로에너지 솔라하우스(ZeSH)에 설치하고 실증시험 및 분석을 수행하였다. 그 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 콤팩트형 하이브리드 시스템은 태양열 집열기와 지열히트펌프를 제외한 대부분의 설비부품을 하나의 패키지로 콤팩트화 시켜서 전체를 Factory made 가 가능하도록 개발된 것으로 좁은 공간(기계실)에도 설치가 가능하며, 현장에서 간단한 배관 작업으로 설치가 용이하다.
- (2) 일사량의 강도가 전혀 다른 두 날에 대한 ON-OFF 운전결과로부터 콤팩트형 태양열/지열 하이브리드 시스템의 작동이 정상적으로 작동됨을 확인할 수 있다.
- (3) 보일러와 같은 화석에너지를 사용하는 별도의 백업설비 없이도 2.5kW의 적은 용

량의 지열히트펌프를 백업장치로 하는 태양열/지열 하이브리드 시스템으로 주택의 냉난방 및 급탕 부하를 100% 공급할 수 있었다.

- (4) 백업용으로 작동되는 지열히트펌프에 의해 동절기 난방의 경우 COP가 3.4~2.75이고 1회 운전시간은 약 50분 전후로 나타났고, 하절기 냉방의 경우 COP는 3.3~2.5이고 1회 운전시간은 약 90~120분 정도가 되는 것으로 나타났다. 히트펌프의 COP는 축열온도가 높을수록 그리고 냉방온도가 낮을수록 낮아지기 때문에 고단열, 고기밀화 된 주택에서는 가능한한 난방공급 최저 설정온도는 낮게, 그리고 냉방공급 최고 설정온도는 높게 하는 것이 효과적이다. 이렇게 함으로서 지열히트펌프의 1회 작동시간도 또한 길어질 수 있기 때문에 기기의 효율적인 운전도 가능해진다.

끝으로 이 시스템은 화석연료 사용하는 기 없이 냉난방 및 급탕이 가능하고 컴팩트화시켰기 때문에 향후 그린홈이나 에너지 자립형 주택에 효율적인 적용 및 보급 확대가 기대될 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 산업기술연구회의 연구지원으로 수행되었음(과제번호 : KIER-B22416)

References

1. Mohsen, M., et al., Thermal analysis of compact solar water heater under local climatic conditions, Elsevier Science B.V., Amsterdam, .Vol. 36, No. 9, 2009, pp. 962-968,
2. Eisberg, N., HOUSE PROUD: BASF has created a near zero-energy house, Chemistry and industry, No. 22, 2006, pp. 20~23,
3. Nam-Choon B., et al, A Study on the Operating Characteristics of Solar Collecting System in Solar Thermal/Geothermal Hybrid System with Facade Integrated Solar Collector, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 30, No. 5, 2010. 10, pp. 69~76
4. U-Cheul S., et al, Analysis of Thermal Performance of Ground-Source Heat Pump System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 26, No. 2, 2006. 6, pp. 95~101
5. Nam-Choon B., et al,, Thermal Performance of Solar Thermal System by On-Off Differential Temperature of Differential Temperature Controller, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 25, No. 2, 2005. 6, pp. 1~8