

# IEA ECBCS Annex 54 방법에 근거한 PVT-GSHP 시스템 경제성 평가 연구

## PVT-GSHP System Economic Evaluation Study with IEA ECBCS Annex 54 Method

박진우\* · 강은철\*\* · 이의준\*\*†

Pak Jin-Woo\*, Kang Eun-Chul\*\* and Lee Euy-Joon\*\*†

(Submit date : 2013. 11. 14., Judgment date : 2013. 11. 21., Publication decide date : 2014. 2. 10.)

**Abstract :** This study is to perform economic analysis of a PVT-GSHP(Photovoltaic Thermal-Ground Source Heat Pump) system compared to the conventional system which consists of a boiler and a chiller. This research has simulated, developed and analyzed four systems for application in a residential and an office building which was based on the hourly EPI(Energy Performance Index, kWh/m<sup>2</sup>yr). Case 1 includes a boiler and a chiller to meet heating and cooling demands for a house. Case 2 is the same conventional system as Case 1 for an office. Case 3 is simple summation of Case 1 and 2. And Case 4 is utilizing a PVT-GSHP to meet the combined loads of the house and office. The economic evaluation study was based on IEA ECBCS Annex 54 subtasks C economic assessment methods. This study indicated that PVT-GSHP system can save a building's energy up to 53.9%. Also the SPB(Simple Payback) of the PVT-GSHP system with 0%, 50% initial incentive was 14.5, 6.7 year respectively.

**Key Words :** 태양광/열(PV/T, Photovoltaic Thermal), 지열히트펌프(GSHP, Ground Source Heat Pump), 부하공유(Load Sharing), 투자환수기간(Simple Payback)

\*\*† 이의준(교신저자) : 한국에너지기술연구원  
E-mail : ejlee@kier.re.kr, Tel : 042-860-3514  
\*박진우 : 충남대학교 건축공학과  
\*\*강은철 : 한국에너지기술연구원, 에너지효율연구본부

\*\*† Lee Euy-Joon(corresponding author) : Energy Efficiency Department, Korea Institute of Energy Research.  
E-mail : ejlee@kier.re.kr, Tel : 042-860-3514  
\*Pak Jin-woo : Department of Architecture Engineering, Chungnam University.  
\*\*Kang Eun-Chul : Energy Efficiency Department, Korea Institute of Energy Research.

### 기 호 설 명

$W_e$  : 전력의 단위 일  
 $W_t$  : 열의 단위 일  
 $RT$  : 냉동톤

### 1. 서 론

지난 2011년 9월 발생한 원전 사고 및 하절기 정전 사태는 사회적 혼란을 야기하였으며, 2012년 8월에도 폭염으로 인한 전력수급이 급증하면서 단계적 전력을 공급하는 ‘전력주의’ 정보 사태까지 직면하였다. 국내 1인당 연간 전력 소비량은 1973년 375 kWh에서 2009년 8,323 kWh으로 약 22배 증가하였으며, 2010년에는 전력사용 패턴이 계절에 관계없이 7,000만 kW를 초과하였다. 또한, 유엔 산하 기구인 IEA (International Energy Agency) 2011 보고서에 따르면 글로벌 에너지 수요가 2030년까지 2009년 발전용량의 67%만큼 더 필요하다고 한다.<sup>1)</sup> 이러한 현안을 해소하기 위한 방안으로 개별 건물 부하를 하나로 통합하여 하나의 설비로 대응 하는 부하나눔(Load sharing) 기술이 필요하며, 신재생에너지원인 태양에너지와 지열에너지를 융합하여 공급하는 PVT (Photovoltaic Thermal)-GSHP(Ground Source Heat Pump) 기술이 요구되고 있다. 부하나눔 기술은 사용패턴이 다른 두 건물의 부하를 통합하여 하나의 설비로 대응하여 전체 피크부하를 줄여줌으로써 설비의 용량을 줄이고, 장비의 운전율을 높이는 에너지 절약 기술을 말하며, PVT-GSHP 기술은 기존 보일러/칠러 시스템 대신 태양과 지열을 융합하여 냉·난방 에너지를 공급하는 기술로써 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구에서는 기존 보일러/칠러 시스템 대비 부하나눔 건물에 PVT - GSHP 시스템의

에너지 사용량을 기반으로 경제성 평가를 수행하고자 하였으며 자세한 내용은 다음과 같다.

- (1) 보일러/칠러 설비 대비 PVT-GSHP 시스템 초기설치 비용 분석
- (2) 에너지 사용요금에 따른 운전비용 분석
- (3) 인센티브제도에 의한 경제성 분석

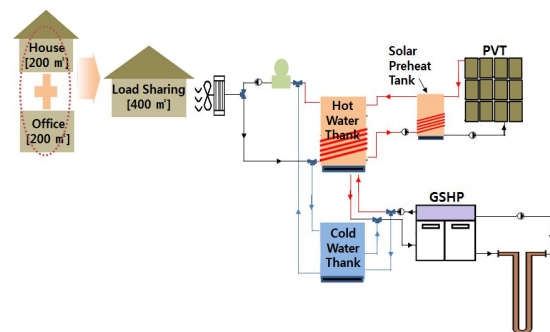


Fig. 1 Load sharing PVT-GSHP system (Concept)

### 2. 에너지 사용량 분석

본 연구는 한국에너지기술연구원(KIER)과 캐나다 CanmetENERGY가 협력 연구한 KIER\_Subtask C Report<sup>2)</sup>의 에너지 사용량을 바탕으로 경제성 분석을 수행하였다. KIER\_Subtask C Report는 EnergyPlus에서 제공되는 인천 기상데이터를 사용하였으며, 적용된 건물은 사각 형태의 하나의 존으로 주거건물 및 비주거건물을 동일한 형태로 구현하였다. 또한, 건물에 필요한 입력 정보는 Table 1에 제시한 ASHRAE 90.1<sup>3)</sup>의 기준 값을 동일하게 사용하였으며, 비공조 전력부하는 CCHT(Canadian Centre for Housing Technology) 프로파일을 근거로 하여 평균적 난방부하는 58.4 kWh/m<sup>2</sup>, 냉방부하는 44.0 kWh/m<sup>2</sup>, DHW는 12.3 kWh/m<sup>2</sup>로 나타났다.<sup>2)</sup> 또한, 주거건물의 Total Internal Gain은 13.2 kWh/day, 비주거건물은 34.6 kWh/day로 Fig. 2에 나타내었다.

Table 1 Building specification

U-value	House&Office	Unit
Area	200	m <sup>2</sup>
Roof	0.27	W/m <sup>2</sup> k
External Wall	0.43	W/m <sup>2</sup> k
Floor	0.934	W/m <sup>2</sup> k
Windows	3.12	W/m <sup>2</sup> k

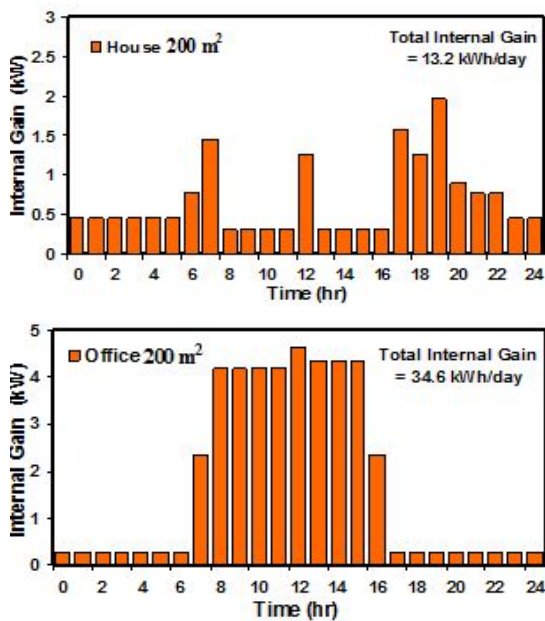


Fig. 2 Total internal gain (House, Office)

Case 1~3는 주거건물과 비주거건물에 보일러/칠러 시스템을 사용하여 냉·난방 에너지를 공급하는 조건으로 Case 1은 바닥면적 200m<sup>2</sup>의 주거건물에 30 kW의 보일러와 3 RT(10.6 kW)의 칠러를 사용하였다. Case 2는 바닥면적 200m<sup>2</sup>의 비주거건물로 30 kW급 보일러와 4 RT(24.1 kW)급 칠러를 사용 하였으며, Case 3는 에너지 사용량 및 경제성 평가에 기준이 되는 조건으로 주거건물과 비주거건물의 결과를 단순 합으로 구하였고, Fig 3에 나타내었다. 또한, Case 4는 부하나눔 건물에 신재생에너지를 융합한 PVT-GSHP 기술로 5 RT급 GSHP 시스템과 3 kW급 PVT 시스템을 사용하였다. 사용된 PVT 시스템은 STC(Standard test condition) 조건에서 발전능력이 295 We 이고, 열성능이 1,535 Wt인 PVT 모듈 10장을 사용하였다. 조건별 에너지 사용량 분석 결과 주거건물을 모델링 한 Case 1은 31,152 kWh/yr의 에너지를 사용하였으며, 비주거건물을 모델링 한 Case 2는 29,728 kWh/yr의 에너지를 사용하였다. 또한, 기준이 되는 주거건물과 비주거건물을 단순합으로 구한 Case 3는 60,879 kWh/yr의 에너지를 사용하였으며, Case 4는

Table 2 Annual energy consumption, production and savings in cases 1~4

Energy (kWh/yr)		Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
		House [200 m <sup>2</sup> ]	Office [200 m <sup>2</sup> ]	House + Office [400 m <sup>2</sup> ]	PVT-GSHP [400 m <sup>2</sup> ]
Space Heating + DHW Heating	Natural Gas	17,690	11,722	29,411	926
	Electricity	-	-	-	6,736
Space Cooling	Electricity	4,124	5,911	10,035	4,382
Fans		1,077	1,467	2,544	2,687
Pumps		260	227	487	1,970
Non HVAC (lighting, equip, etc.)		8,001	10,401	18,402	18,402
Electricity Production		-	-	-	7,041
Total (Net) Energy Use		31,152	29,728	60,879	28,062
Energy Saving (%)		-	-	-	53.9%

부하나눔 건물에 PVT-GSHP 시스템을 적용한 경우로써 28,062 kWh/yr의 에너지를 사용하여 Table 2에 나타내었다. Case 4의 에너지 사용량이 가장 적게 나타난 이유는 부하나눔에 의해 피크부하가 줄어들어 설비의 용량이 감소하고, 장비의 운전율이 향상되었기 때문이며, 여기에 태양열과 지열을 사용해 냉·난방 에너지를 공급하였기 때문에 기존 시스템인 보일러/칠러 시스템 대비 53.9%의 에너지 절감 효과를 나타냈다.

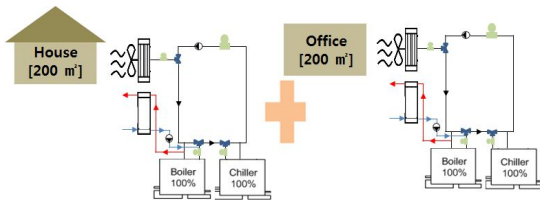


Fig. 3 Boiler/Chiller system (case 3)

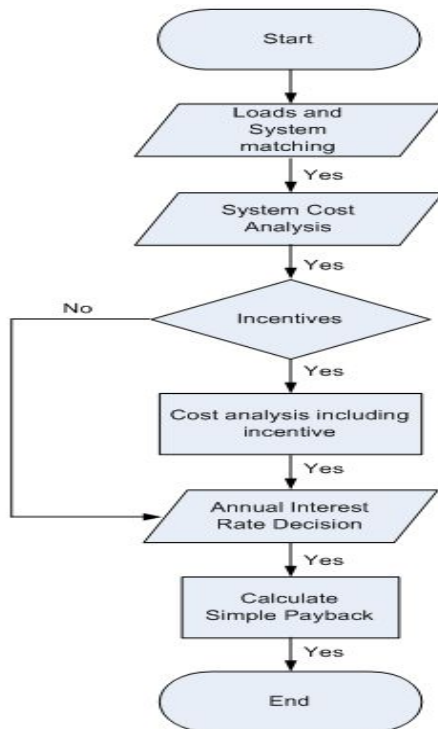


Fig. 4 IEA ECBCS Annex 54 subtask C economic evaluation

### 3. 초기 설치비용 분석

경제성 평가는 Fig. 4의 IEA ECBCS Annex 54 subtask C 경제성평가 방법을 근거로 국내 설비의 초기 설치비용, 운전비용, 인센티브 제도에 따른 경제성 평가를 수행하였다.<sup>4)</sup>

#### 3.1 보일러/칠러 시스템

국내 설비의 초기 설치비용 분석을 위하여 상용화되어 판매되고 있는 보일러/칠러 설비의 용량별 시장조사를 실시하였다. 보일러 시스템은 제조사별 용량에 따라 가격이 다르게 나타났으며, 15~35 kW급 보일러시스템의 가격을 조사한 뒤 회귀식을 통하여 용량별 가격을 선정하여 Fig. 5에 나타내었다.<sup>5)</sup> 칠러 시스템 또한, 10~60 kW급 제품에 대하여 시장조사를 실시한 뒤 회귀식을 통해 용량별 가격을 선정하였고, Fig. 6에 나타내었다.<sup>6)</sup> 회귀식에 의해 구해진 60 kW급 보일러 시스템의 가격은 VAT 포함 1,035 천원으로 나타났으며, 24.6 kW급 칠러 시스템의 가격은 VAT 포함 2,467 천원으로 나타났다. 보일러/칠러 시스템의 kW당 단가는 Table 3에 나타내었다.

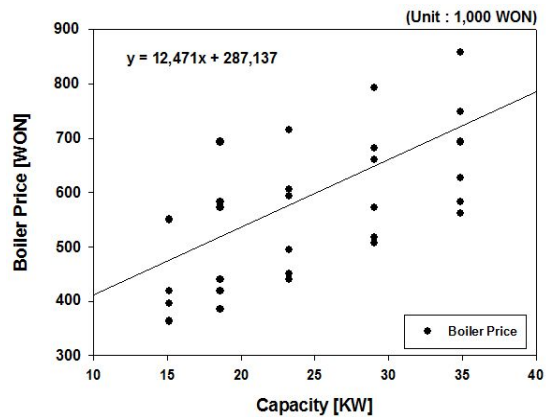


Fig. 5 Boiler price in Korea

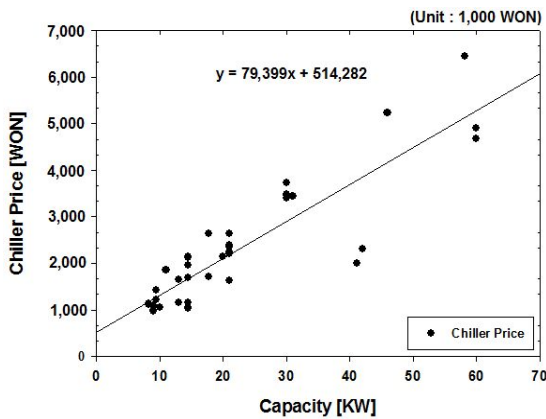


Fig. 6 Chiller price in Korea

Table 3 Initial cost of conventional system

(Unit : 1000 WON)

Costs	Unit	Boiler [60 kW]	Chiller [24.6 kW]
Unit Price	WON/kW	17	10
Invest Cost	WON	1,035	2,467

### 3.2 PVT-GSHP 시스템

태양열과 지열을 융합한 PVT-GSHP 시스템은 지식경제부 고시에서 규정하고 있는 설치단가를 기준으로 선정하였으며, Table 4에 나타내었다.<sup>7)</sup> 지중열원을 활용해 냉·난방 에너지를 공급하는 수직밀폐형 지열히트펌프 시스템 설치단가는 1,260 천원/kWt로, 이를 5 RT(17.6kW)급으로 설계하여 총 설치비용이 22,155 천원으로 나타났다. 또한, 열과 전기를 동시에 생산하는 PVT의 설치 단가는 고정형 태양전지 단가 7,180 천원/kWe에 1.2배로 가정한 값을 사용하여, 8,762 천원/kWe로 나타났다. PVT는 전면에서 전기를 생산하며 후면에서 발생된 열을 이용하는 기술로 후면의 흡수관, 펌프 등 추가 제작비용을 필요로 한다. 하지만 모듈 전체에서 차지하는 비중이 크

지 않을 것으로 가정하여 고정형 태양전지 단가에 1.2배한 비용을 적용하였다. PVT는 전력 3 kW급으로 설계하여 총 설치단가가 25,848 천원으로 나타났으며 지열히트펌프에 비해 총 설치비용이 16.7% 높게 나타났다.

Table 4 Initial cost of renewable energy system

(Unit : 1000 WON)

Costs	unit	GSHP [17.6kW]	PV [3 kW]	PVT [3kW]
Unit Price	WON /kW	1,260	7,180	8,762
Invest cost	WON	22,155	21,540	25,848

## 4. 에너지 사용요금에 따른 운전비용

### 4.1 전기 및 가스 사용요금

국내 전기 및 가스 사용요금은 한국전력공사와 한국도시가스공사의 요금 체계에 따랐다. 한국전력공사는 다양한 전기요금체계를 제시하고 있으며, 본 연구에서는 일반 가정이나 소형 사무실건물에 적용할 수 있는 저전압 A의 단가를 사용하였다. 한국전력공사는 저전압 A의 단가를 계절별로 다르게 부과하고 있어 계절별(여름:102.9 WON/kWh, 봄:88.8 WON/kWh, 겨울:64.1 WON/kWh) 사용 기간에 발생하는 요금과 저전압 A의 단가를 곱해 평균을 구한 뒤 시간으로 나눠 전력 단가를 78.8 원/kWh으로 구하였다.<sup>8)</sup> 또한, 천연가스 가격은 한국도시가스공사의 2013년 8월 가격을 적용하였다. 가스 단가는 주택용 72.4 원/kWh과 사무실용 73.8 원/kWh의 평균값인 73.1 원/kWh를 사용하였다.<sup>9)</sup>

### 4.2 사용요금에 따른 운전비용

기준이 되는 보일러/칠러 시스템의 연간 운

전비용은 Table 2의 가스 사용량에 대한 천연가스 단가를 곱하여 연간 2,149 천원/yr로 나타났으며, 전기 사용료는 연간 2,479 천원/yr로 나타났다. 이러한 보일러/칠러 시스템의 총 연간 운전비용은 4,628 천원/yr로 분석되었으며, 신재생에너지를 활용한 PVT-GSHP의 연간 운전비용 또한 동일한 방법에 의해 2,760 천원/yr로 Table 5에 나타내었다. PVT-GSHP 시스템은 태양열과 지열을 활용해 냉·난방 에너지를 공급하여 기존시스템(Case 3) 대비 40.4%의 운전비용 절감효과를 나타내었다.

Table 5 Operating costs  
(Unit : 1000 WON)

Costs	unit	Boiler/Chiller	PVT-GSHP
Natural Gas	WON/yr	2,149	67
Electricity [from grid]	WON/yr	2,479	2,693
Total	WON/yr	4,628	2,760

### 5. 인센티브제도에 의한 경제성평가

신재생에너지 설비는 앞의 결과와 같이 초기 설치비용과 운전비용의 총 합이 50,763 천원으로 나타났으며, 기존 보일러/칠러 시스템은 8,130 천원으로 나타났다. 이처럼 신재생에너지 설비는 기존 보일러/칠러 시스템 대비 초기 설치비용과 운전비용의 합이 높게 나타나 투자자들이 투자를 하지 않고 있는 실정이며 이를 보완하기 위하여 초기 설치비용에 0%, 50%의 인센티브를 적용하여 경제성 평가를 수행하였다. 또한, 신재생에너지 공급 의무화 제도(RPS)에 의해 생산된 전력은 2배의 가격으로 판매 되었다는 가정을 두었으며 신재

생에너지 설비의 수명과 설치비용의 상환기간은 20 yr, 이자율은 2.0%, 유지보수비용은 0.5%로 동일하게 적용하여 Capital costs를 구하였다. PVT-GSHP시스템에 0%의 인센티브 제도를 적용한 결과 Capital costs는 2,935 천원/yr로 나타났으며, 유지보수비용은 240 천원/yr, 가스비용은 67 천원/yr, 전기비용은 생산된 전력을 판매하여 1,593 천원/yr로 나타났으며, 이를 합한 연간 유지비용은 4,835 천원/yr으로 투자 환수기간이 14.5년으로 나타났다. 그리고 50%의 인센티브제도를 적용한 결과 Capital costs는 1,467 천원/yr, 유지보수비용은 240 천원/yr, 가스비용은 67 천원/yr, 전기비용은 생산된 전력을 판매하여 1,593 천원/yr로 나타났으며, 이를 합한 연간 유지비용은 3,367 천원/yr, 투자환수기간은 6.7년으로 Fig. 7과 Table 6에 나타내었다. 투자환수기간(Simple Payback)은 기존시스템인 보일러/칠러 시스템을 PVT-GSHP 시스템으로 대체할 경우 초기 투자비용을 환수하는 기간을 말하며 식 (1)에 나타내었다.

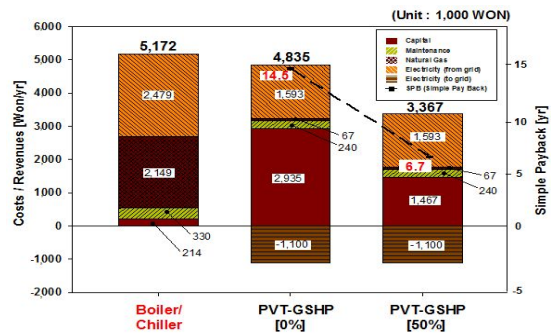


Fig. 7 Economic balance based on yearly data

$$SPB = \frac{\text{Total investment cost of (AS - CS)}}{\text{Operating cost of (CS - AS) + Revenues of AS}} \quad (1)$$

AS : Alternative system  
CS : Current system

이러한 투자환수기간은 짧으면 짧을수록 새로운 시스템을 도입해 초과한 투자 금액을 빠른 시일 내에 환수할 수 있음을 의미한다. 인센티브제도에 의한 경제성 평가 결과 50%의 인센티브제도를 적용하게 된다면 유지비용뿐만 아니라 투자환수기간이 짧아져 경제성이 우수하게 나타났으며, PVT에서 생산된 전력을 전력망에 판매하여 이득 효과를 나타내었다.

Table. 6 Economic balance based on yearly data  
(Unit : 1000 Won)

Costs	Boiler/ Chiller	PVT-GSHP	
		[0%]	[50%]
Invest cost+ Operation [WON]	8,130	50,763	26,761
Capital [WON/yr]	214	2,935	1,467
Maintenance [WON/yr]	330	240	240
Natural Gas [WON/yr]	2,149	67	67
Electricity (from grid) [WON/yr]	2,479	1,593	1,593
Electricity (to grid) [WON/yr]	-	-1,100	-1,100
Saldo [WON/yr]	5,172	4,835	3,367
SPB [yr]	-	14.5	6.7

## 5. 결 론

본 연구에서는 기존 보일러/칠러 시스템 대비 태양열과 지열 에너지를 융합한 PVT-GSHP 시스템에 대하여 초기 설치비용, 운전비용, 인

센티브제도에 따른 경제성 평가를 수행하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 초기 설치비용 분석 결과 기존설비인 보일러/칠러 시스템의 초기 설치비용은 3,502천원으로 나타났으며, PVT-GSHP 시스템은 48,003천원으로 나타났다.
- (2) 국내 에너지 사용요금(전기,가스)에 따른 운전비용 분석 결과 신재생에너지를 융합한 PVT-GSHP 시스템은 기존시스템(보일러/칠러) 대비 40.4%의 운전비용 절감 효과를 나타내었다.
- (3) 경제성 평가 결과 50%의 인센티브제도를 적용할 경우 연간 유지비용이 3,367천원/yr로 나타났으며, SPB는 6.7년으로 나타났다. 또한, PVT에서 생산된 전력을 전력망에 판매하여 1,100천원/yr의 이득 효과를 나타내었다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 지원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (과제번호 20118520010010)

## 참 고 문 헌

1. Black Out crisis makes Smart Grid system as an opportunity, The Korean Society of Marine Engineering, 2012. p 951-952
2. KIER-CanmetENERGY Joint Study for Solar-Gentheraml Energy based Micro Generation Technology, 2013
3. ASHRAE standard 90.1, Energy Standard for Buildings except Low-Rise Residential Buildings, 2007.
4. A. Rosato, S. Sibilio, G. Ciampi., 2013, Energy



- environmental and economic dynamic performance assessment of different micro-cogeneration systems in a residential application, Applied Thermal Engineering 59 , pp 599-617
5. Boiler website, <http://www.1688-0479.com>
  6. Chiller Website, [http://http://prod.danawa.com/list/?defSite=ELEC&cate\\_c1=118&cate\\_c2=119&cate\\_c3=15732&cate\\_c4=34100](http://http://prod.danawa.com/list/?defSite=ELEC&cate_c1=118&cate_c2=119&cate_c3=15732&cate_c4=34100)
  7. 2011 Renewable Energy Sources Unit Price Announcement, New and Renewable Energy Centre of Korea Energy Management Corporation (KEMCO), 2011, pp. 1
  8. Korea electric power corporation website, <http://cyber.kepco.co.kr/ckepco/front/jsp/CY/E/E/CYEEHP00202.jsp>
  9. Korea Gas Corporation website, <http://www.kogas.or.kr/>