

# 대규모 고등학교의 냉난방 및 신재생에너지시스템 적용방안에 관한 연구

김 지 연, 박 효 순\*, 김 성 실\*\*, 서 승 직\*\*\*†

인하대학교 건축공학과/KIER, \*한국에너지기술연구원, \*\*LG전자, \*\*\*인하대학교 건축공학과

## A Study on the Application Plan of Air-Conditioning and New and Renewable Systems in the Large High Schools

Ji-Yeon Kim, Hyo-Soon Park\*, Seong-Sil Kim\*\*, Seung-Jik Suh\*\*\*†

Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea/KIER

\*Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

\*\*LG Electronics, Seoul 150-721, Korea

\*\*\*Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received July 30, 2009; revision received September 18, 2009)

**ABSTRACT:** The study is conducted to study a new, optimum and new and renewable energy application method that can cover the minimum energy and operation costs within a range of school budgets. By deriving the optimum application method, it is expected to maximize the cooling/heating and hot water supply energy saving efficiencies for educational facilities. Therefore, this research implemented a study on the new and renewable energy utilization technique diffusion expansion method and the optimum method. As a result, the first optimum plan was introduced with the multi-type geothermal heat pump 475.6 kW + highly efficient electronic cooling/heating device(EHP) 545.2 kW. On the other hand, the second optimum plan was induced as the multi-type geothermal heat pump 261kW + solar heat collector 240 m<sup>2</sup> + highly efficient electronic cooling/heating device(EHP) 759.8 kW.

**Key words:** New and renewable energy(신재생에너지), EHP(전기구동히트펌프), Multi-type geothermal heat pump(멀티형 지열히트펌프)

### 기 호 설 명

*P* : 설치투자비 [원]  
*E* : 전력소비량 및 발생량 [kWh]  
*F* : 연료소비량 [Nm<sup>3</sup>/h]  
*Q* : 공급량 [kcal/h]  
*H* : 연료발열량 [(kcal/Nm<sup>3</sup>)

*E* : 보일러의 효율  
*LCC* : 생애주기비용 [원]  
*PV* : 현재가 [원]  
*i* : 할인율  
*i'* : 이자율  
*j* : 물가상승률

하첨자

† Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7590; fax: +82-32-866-4624

E-mail address: energeti@inha.ac.kr

*Ren* : 신재생에너지 설비

*GSHP* : 멀티형 지열원히트펌프설비

- SC : 태양열집열설비
- PV : 태양광발전설비
- EHP : 고효율 전기식 냉난방기
- Pump : 지열열교환기 순환펌프
- Fan : 실외기 및 실내기 팬
- hwload : 급탕부하
- initial : 급탕부하
- EC : 에너지비용
- OM : 유지관리비용
- RC : 시설교체비
- RV : 잔여가치

1. 서 론

우리나라는 국무총리지시 제2008-3('08. 6. 12)로 공공기관 에너지합리화 추진 지침에서 공공기관의 신·재생에너지 이용을 의무화하고 있다. 신·재생에너지설치 의무화사업은 공공기관이 신축하는 연면적 3,000m<sup>2</sup>이상의 건축물에 대하여 총 건축공사비의 5% 이상을 신·재생에너지 설치에 투자하도록 의무화하는 제도이다. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」을 개정(2008. 3. 14)한 후 학교시설을 포함한 신·재생에너지시설 설치의무화 대상건축물을 “신축”에서 “중·개축”까지 확대하는 내용의 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」이 2009년부터 시행되고 있다. 신축학교는 대부분 연면적 3,000m<sup>2</sup>이상이므로 모두 신·재생에너지시스템을 의무적으로 설치해야 할 필요가 있다.

학교시설을 조사한 결과, 대부분의 학교는 냉·난방시스템으로 EHP나 GHP 시스템을 선호하고 있다. 개별제어가 가능한 이 두 시스템 중에 전력단가가 낮은 학교에는 EHP를 냉난방방식으로 채택하는 것이 비용절감측면에서 효과적인 것이다. 또한 Fig. 1과 같이 EHP 시스템을 주된 냉·난방방식으로

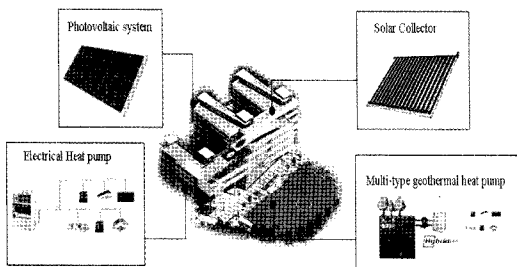


Fig. 1 Cooling/Heating and New and Renewable energy systems.

하여 멀티형 물/공기 지열히트펌프와 연계한다면 냉난방비용을 절감할 수 있을 것이며 태양열 집열기나 태양광시스템을 통해 급탕부하와 전기부하를 줄일 수 있을 것이다. 하지만 성능이 좋은 신·재생에너지 설비기기가 도입되고 정책이 앞서간다고 하여도 교육시설의 신·재생에너지에 대한 도입 규모 등 적정 용량기준이 없고 최적시스템의 구축과 경제성이 분석되고 평가되지 않는다면 에너지절약을 기대할 수 없을 뿐만 아니라 시스템 구축에 어려움이 따른다. 선행연구에서는 소규모 학교의 냉난방 및 신재생에너지복합시스템 최적화방안에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 중규모의 학교예산 범위 내에서 에너지비용과 운영비용을 최소한으로 부담할 수 있는 최적의 냉·난방 및 신·재생에너지 적용방안을 연구하는 것이 목적이며 최적 적용방안을 도출하고자 한다.

1.2 연구의 방법

본 연구의 흐름도는 Fig. 2와 같으며 대부분의 입력 자료나 스케줄은 실제 학교를 조사하여 작성하였다.

건물부하, 냉난방기기의 에너지소비량 등은 TRNSYS를 통해 계산하였다. TRNSYS 개념도는 Fig. 3과 같으며, 현재 시장에 출시 중인 상당수의 시뮬레이션 프로그램과 달리 TRNSYS는 사용자가 각 시스템 컴포넌트 사이의 모든 상호관계를 완벽하게 모사하고 모니터링할 수 있다. 또한 시뮬

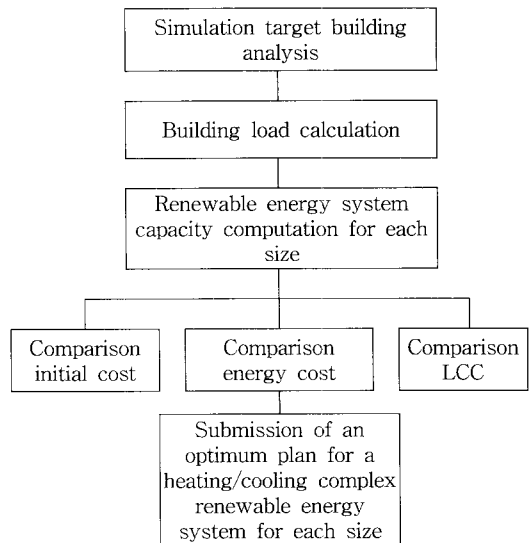


Fig. 2 Research flowchart.

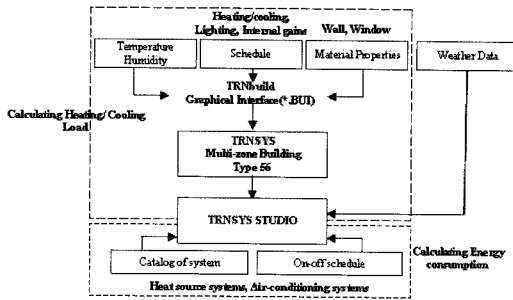


Fig. 3 TRNSYS simulation concept chart.

레이션 시간간격도 몇 시간부터 몇 초까지 자유롭게 설정 가능하다. 특히 TRNSYS는 건물 성능 시뮬레이션 프로그램 중 건물의 실질적 동작 반응을 모사할 수 있는 temperature-level-control로 해석할 수 있는 프로그램 중 하나이다. 이에 본 연구에서는 TRNSYS가 건물 열성능 시뮬레이션 프로그램으로 적절한 것으로 판단되어 이를 이용하여 해석하였다.

2. 학교건물의 신재생에너지복합시스템 최적 모형

본 연구의 목적은 신·재생에너지설치 의무화사업을 통해 학교건물에 적합한 냉난방시스템 및 신재생에너지복합시스템을 도출하는데 있다. 하지만 최적의 시스템은 에너지비용, 유지비용, 초기투자비용, 환경비용 등에 따라 각각의 다른 최적안이 다를 수 있기 때문에 에너지비용, 유지비용, 초기 투자비용을 모두 고려할 수 있는 LCC(Life Cycle Cost)분석을 통해 최적안을 도출하고자 하였다.

$$P_{Ren} = P_{gshp} + P_{sc} + P_{pv} \quad (1)$$

신재생에너지설비투자비는 식(1)과 같이 지지열 원히트펌프, 태양열집열설비, 태양광설비를 합친 비용이다. 신재생에너지설비는 설치투자비의 건축공사비의 5%를 기준으로 설정이 된다. 건축공사비는 신·재생에너지설치 의무화사업의 “건축공사비 설치 기준”을 따르며 학교의 건축공사비 산정기준은 표준건축비(1,008,700 m<sup>2</sup>, 2008년 기준)의 0.7배이다.

신재생에너지설비 설치투자비의 범위 내에서 설정된 대안들은 식(2)과 식(3)을 통해 에너지소비량(전기, 가스)을 도출할 수 있다.

$$E_{Total} = E_{EHP} + E_{GSHP} + E_{Pump} + E_{Fan} - E_{PV} \quad (2)$$

$$F = \frac{Q_{hload} - Q_{sc}}{H \cdot E} \quad (3)$$

위의 식을 통해 각 대안에 대한 에너지소비량을 계산하면 에너지비용은 계절별 전기단가와 가스단가를 이용하여 구할 수 있다. 식(4)와 같이 에너지비용, 유지비용, 초기투자비용을 산정한 후 이를 종합하여 LCC를 분석할 수 있다.

$$LCC = PV_{initial} + PV_{EC} + PV_{OM} + PV_{RC} - PV_{RV} \quad (4)$$

3. 입력자료 분석

3.1 부하입력자료

냉·난방부하를 계산하기 위해 수집한 기상데이터와 캐드도면을 분석하고 각 실의 용도를 파악하였다.

건물은 실의 사용목적 및 사용시간에 따라 냉·난방, 환기, 조명, 재실, 운수, 콘센트 및 팬 동력 등의 설정조건이 상이하므로 사용스케줄이 필요하며, 이에 대한 각각의 사용스케줄을 작성하였다.

이 중 냉·난방 및 환기는 건물의 공조방식 및 현행 법규를 고려하여 설정하였으며, 그리고 각 실의 특성에 맞게 존은 구획하고 구획 후 건물외벽(Table 1), 창호의 면적과 물체치를 입력하여 건물부하를 계

Table 1 Material properties of outdoor wall

Materials	Thickness [mm]	Thermal conductivity [W/m · K]	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	Specific heat [J/kg · K]
Outdoor	-	-	-	-
Granite	30	2.17	2,180	712
Insulation	50	0.034	24	1,590
Reinforced concrete	130	1.5	2,400	920
Cement mortar	11	1.3	2,000	837
Indoor	-	-	-	-

Table 2 Temperature and relative humidity

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Outdoor temperature[°C]	-2.5	-0.3	6.3	11.5	16.8	21.9	24.4	25.4	21.1	14.9	7.1	0.2
Relative humidity[%]	62	69	65	63	66	75	80	73	71	59	67	58

Table 3 Power rates of school

[Unit: won]

Section	Base rates [Won/kW]	Power rates			
		Summer [7~8]	Spring, Autumn [3~6, 9~10]	Winter [11~12]	
Low tension	4,090	73.00	46.90	53.10	
High tension A	I	4,340	72.60	46.70	52.90
	II	4,970	69.30	43.50	49.30
High tension B	I	4,340	72.20	46.30	52.40
	II	4,970	68.80	43.10	48.80

산하기 위한 모델링을 수행하였다. 학교건물에 적용되어야할 각종 설계 인자 중 단열두께, 창유리 두께 등 관련 법규에 정해진 사항들 외에 현장 확인이 필요한 요소가 건축주 또는 설계자의 의도대로 임의적으로 설계되기 때문에 1997~1998년에 걸쳐 “건물의 에너지원단위기준(안) 연구”에서 조사된 건물에너지소비 실태조사결과를 반영하여 작성된 학교표준도면을 이용하고 학급수에 따라 재실율과 내부발열조건 등의 입력조건을 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다.

부하가 가장 많이 발생하는 실은 재실밀도와 재실율이 많은 일반교실과 관리실이다. 일반교실은 주로 일반교과 수업을 하며 8차 교육과정에 의해 일부 이동수업을 하는 학교가 있으나 대부분 일반교실은 보통 45~50명 정도의 학생과 1명의 교사가 재실한다. 일반교실은 방학과 휴일을 제외한 매일 재실시간은 비슷하다. 일반교실은 재실자의 밀도가 높고 장시간 재실하기 때문에 냉·난방운영기간이나 시간이 상대적으로 길다. 따라서 한 학교의 일정표와 일일시간표를 이용하여 실제 재실율과 냉난방 스케줄을 작성하여 이를 이용하였다.

기상데이터는 서울지역의 1999~2004년까지의 시간평균데이터를 이용하였으며 건물부하에 영향을 미치는 외기온도와 상대습도를 비교한 결과는 Table 2와 같다.

### 3.2 에너지 단가

전력요금은 기본요금과 사용요금의 합으로 이루어지며 교육용 건물의 전력요금(2008년)은 주거용 건물과 타 건물에 비해 저렴한 편이다. 기본 전력요금은 지난달의 사용전력 중 최대 사용전력을 선택하여 기본요금 책정에 적용된다. 조사 결과, 전력요금은 Table 3과 같으며, 모든 학교가 고압 A선택 I의 요금을 적용하였다. 따라서 에너지비용 계산 시 고압 A선택 I의 요금을 적용한다.

가스요금은 Table 4와 같으며, 비주기적으로 요금이 갱신되고 지역마다 차등 적용되기 때문에 서울요금(2008년)을 기준으로 한다. 서울지역의 요

Table 4 Gas rates of school

[Unit: won]

Month	Heating/Cooling	Hot water supply
1~2	588.14	581.01
3~4	574.08	570.47
5~6	596.79	587.50
7~8	613.26	608.55
9~10	653.73	631.41
11~12	669.89	665.40

금도 구역마다 담당하는 회사가 다르기 때문에 평균값을 기준으로 적용하며 가스의 발열량은 10,550 kcal/Nm<sup>3</sup>으로 가정한다. 가스요금은 취사용과 냉·난방용 가스요금이 구분되어 있다.

3.3 초기 투자비

초기투자비는 열원기기, 부하기기, 배관공사비, 인건비 등을 산출하여 합산하였으며, 부대공사 및 자동제어공사 등은 산출항목에서 제외하였다. 시스템 가격은 장비비(기기가격)을 뜻하며 초기투자비용의 대부분을 차지한다. 기기의 가격은 절대적인 가격이 없으며 판매자와 구매자의 협의에 의해 정해지는 경우가 대부분이기 때문에 공정하고 일반적인 가격을 적용하기 위하여 한국물가협회에서 발행하는 물가정보와 업체에서 제공하는 가격정보를 이용한다. 물가자료에 나온 가격은 정가이므로 판매경로가 대리점을 거치는 가격일 경우 이를 수렴하여 제시된 가격의 80%를 기기가격으로 정의한다. 가격정보(Table 5)는 2008년 11월 기준이다.

신·재생에너지설치비는 에너지관리공단 신·재

Table 6 Price data

[Unit; won, 2008]

New and renewable energy	Type	Cost (thousand won)
Photovoltaic	Fixed type	9,300/kW
Solar collector	Vacuum tube type	1,040/m <sup>2</sup>
Geothermal Heat pump	Vertical closed type	1,140/kW

생에너지센터에서 정한 2008년 신·재생에너지설치 단가(Table 6)를 적용한다. 태양열급탕 시스템을 설치할 경우에도 같은 용량의 보일러를 설치해야 하기 때문에 보일러설치비는 고려하지 않는다.

3.4 LCC평가를 위한 기준

LCC 분석을 위해 분석기간, 현가환산율, 분석시점 등을 가정할 필요가 있다. 일반적으로 분석기간은 운전시점을 기준으로 25년 이내에서 생애주기를 감안하여 설정한다.

Table 5 Price data

[Unit; won]

Section	EHP	GHP	Absorption chiller
Heat source system	Outdoor unit(58 kW) : 9,493,636	Outdoor unit(58 kW) : 5,524,400 (Excluding support)	Chiller(130 RT) : 84,566,667
	Outdoor unit(29 kW) : 5,050,000		Chiller(150 RT) : 94,380,000 Cooling tower(150 RT) : 32,050,000 Cooling tower(200 RT) : 34,660,000
Indoor	Indoor unit(5.8 kW) : 679,091	Indoor unit(5.8 kW) : 679,091	FCU : 260,000
	Indoor unit(11.6 kW) : 758,182	Indoor unit(1.6 kW) : 758,182	
Installation cost	Outdoor unit : 450,000/Unit	Outdoor unit : 1,000,000/Unit	Chiller(130,150 RT) : 2,250,000
	Indoor unit : 850,000/Unit	Indoor unit : 850,000/Unit	Cooling tower(150 RT) : 5,924,180 Cooling tower(200 RT) : 8,084,804 FCU : 85,043/Unit
Piping cost	Refrigerant pipe : 1,100,000/Outdoor unit	Refrigerant pipe : 1,100,000/Outdoor unit	Duct : 30,192/m <sup>2</sup> (total floor area)

Table 7 Actual dimension and capacity computation table for a school with 36 classrooms

Section	Room name	Dimensions [m <sup>2</sup> ]	Number	Total Dimensions [m <sup>2</sup> ]	Capacity [kW]
General class room	class room	67.5	36	2,430	417.6
	Small lecture room	33.75	4	135	23.2
	Large lecture room	101.25	2	202.5	34.8
Faculty room	Teachers' room	113	1	113	58
	Infirmary	56	1	56	
	Administration room	67.5	1	67.5	
	Principal's room	67.5	1	67.5	
special class room	Music room	101.25	1	101.25	23.2
	Preparation room	33.75	1	33.75	
	Art room I	101.25	1	101.25	23.2
	Preparation room	33.75	1	33.75	
	Art room II	101.25	1	101.25	23.2
	Preparation room	33.75	1	33.75	
	Science room	101.25	2	202.5	46.4
	Preparation room	33.75	2	67.5	
	Domestic room	101.25	1	101.25	23.2
	Preparation room	33.75	1	33.75	
Support room	Computer room	101.25	2	202.5	34.8
	Library	262.5	1	262.5	34.8
	Information retrieval room	33.75	1	33.75	23.2
	Language laboratory	101.25	1	101.25	58
	Dining room	350	1	350	
	audio-visual classroom	350	1	350	
	gymnasium	818.8	1	818.8	
총 계				6000.3	1,020.8

\* 1HP = 2500 kcal/hr = 2.9 kW 기준.

그리고 서로 다른 시점에서 발생하는 비용을 기준이 되는 동일한 시점에서 비교할 수 있도록 조정하기 위하여 할인율을 적용한다. 할인율은 시장의 금리와 물가상승률을 조합하여 실질적인 화폐의 가치변화를 나타내며 식(5)를 이용하여 구할 수 있다.<sup>(5)</sup>

$$i = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \tag{5}$$

일반적으로 물가상승률을 측정하는 데 사용되는 소비자물가지수를 이용하여 과거 데이터를 통해 미래를 예측하고 분석에 적용한다. 물가 상승률은 IMF 직후인 1998년에 7.5%를 나타낸 이후 점차 안정되어 2007년에는 2.5%를 보여 10년 평균으로 3.21%의 물가상승률을 보이고 있다.

이자율은 회사채(AA-)수익률(%)의 평균 금리를 적용하였으며 1998~2007년 간의 평균 금리는 7.26%

로 나타났다.

#### 4. 대안별 비교 평가

##### 4.1 냉난방용량 산정

대규모학교의 기준은 36학급 이상이며 연면적 12,000m<sup>2</sup>이상의 규모로 정의하였다. 교실의 실면적 모듈은 67.5m<sup>2</sup>이며 모듈면적당 11.6kW 용량의 실내기가 필요한 것으로 나타났다. 이를 기준으로 36학급 규모 학교(연면적 13,000m<sup>2</sup>)의 실 전체에 대한 냉·난방용량을 산정한 결과는 Table 7과 같다.

##### 4.2 냉난방시스템

건축공사비의 5% 기준으로는 지열원 히트펌프 시스템을 모든 실에 설치할 수 없기 때문에 기존의 냉·난방시스템과 함께 설치해야 한다. 학교시설을 조사한 결과, 대부분의 학교는 냉·난방시스템으로 EHP나 GHP 시스템을 채택하고 있으며 흡수식 냉온수기나 지역난방 등의 중앙 냉·난방 방식을 이용하고 있는 학교도 있었다. 따라서 지열원 히트펌프시스템을 적용하지 않은 실들은 EHP, GHP, 흡수식냉온수기를 적용하여 냉·난방에너지를 계산하도록 하였으며 냉·난방기기별 특성은 Table 8과 같다.<sup>(1,3)</sup>

##### 4.3 시뮬레이션에 의한 최적안 도출

Table 9는 신·재생에너지적용비율을 선정하기 위해 건축공사비 5%를 기준으로 학교에 태양열 집열기, 멀티형 지열원 히트펌프, 태양광발전시스템을 조합하여 에너지비용을 비교한 표이다. 건축공사비 5% 비용의 범위 안에서 태양열 집열기와

멀티형 지열원 히트펌프를 적용하고 남은 비용으로 태양광발전 시스템을 적용하였다. 그 결과, 집열기 면적이 늘어날수록 에너지비용은 감소하는 것으로 나타났다. 이는 집열기를 통해 생산할 수 있는 열에너지가 지열원 히트펌프 적용을 통해 절감되는 에너지나 태양광발전 시스템에서 발생하는 전기에너지보다 크고 열효율이 높기 때문이며 학교시설의 경우 가스단가가 전기단가보다 높기 때문인 것으로 판단된다.

#### 5. 대안별 비교 평가

##### 5.1 태양열집열기 적정규모 산정

Table 9의 내용을 통해 에너지비용이 낮은 대안은 멀티형 지열원 히트펌프 145kW + 태양열집열기 364m<sup>2</sup> + 고효율 전기식 냉난방기 875.8kW를 적용했을 경우로 나타났다. 그러나 태양열 시스템은 생산되는 열이 특정시간(낮)에 편중되어 있고 부하가 적은 날이나 없는 날의 경우, 집열된 태양열이 부하보다 많아지기 때문에 시스템작동이 중단되고 축열온도 상승으로 인해 집열부의 작동온도가 높아져 집열효율이 떨어질 수 있다. 따라서 적정용량의 집열기를 선택한 후 남은 설치비용으로 멀티형 히트펌프를 설치하는 것이 바람직할 것이다. 태양열 시스템의 규모는 전체 부하 중 태양열을 공급하는 비율인 태양 의존율(f)를 고려하여 산정하며 식(6)과 같다.<sup>(4)</sup>

$$f = \frac{Q_{hwload}}{Q_{sc}} \times 100 \quad (6)$$

태양열급탕 시스템인 경우 60~80% 이내가 되도

Table 8 Comparison of performance

COP	Multi-type Geothermal Heat Pump*	Water-Water Geothermal Heat Pump**	EHP	GHP	Absorption Chiller
Cooling COP	5.00	4.11	3.81	1.00	1.00
Heating COP	5.42	4.24	3.23	1.20	0.80

\* Cooling capacity : EWT 30 °C, Indoor 27 °C DB/19 °C WB, Outdoor 35 °C DB/24 °C WB, Piping length 10 m, Head 0 m  
 Heating capacity : EWT 20 °C, Indoor 20 °C DB/15 °C WB, Outdoor 7 °C DB/6 °C WB, Piping length 5 m, Head 0 m

\*\* Cooling capacity : EWT 25 °C, LCWT 7 °C  
 Heating capacity : EWT 12 °C, LHWT 50 °C

Table 9 Comparison of cooling/heating energy and hot water supply energy costs

EHP [kW]	Multi-type Geothermal Hea pump [kW]	태양열 집열기(m <sup>2</sup> )																
		0	46	66	104	124	164	204	224	264	284	324	364	384	424	444	484	524
545.2	475.6	35,496																
		0.0																
556.8	464	35,556																
		1.7																
585.8	435	35,871	34,800															
		5.2	0.0															
614.8	406	35,922	34,847	34,461														
		8.8	3.7	1.4														
643.8	377	36,025	35,007	34,615	33,901													
		12.4	7.2	5.0	0.0													
672.8	348	36,081	35,058	34,672	33,921	33,572												
		15.9	10.8	8.5	4.3	2.0												
701.8	319	36,339	35,321	34,929	34,183	33,830	33,170											
		19.5	14.3	12.1	7.8	5.6	1.1											
730.8	290	36,395	35,372	34,985	34,287	33,881	33,221	32,639										
		23.0	17.9	15.6	11.4	9.2	4.7	0.0										
759.8	261	36,550	35,518	35,037	34,343	33,989	33,277	32,682	32,422									
		26.6	21.4	19.2	14.9	12.7	8.2	3.8	1.5									
788.8	232	36,555	35,532	35,089	34,394	34,041	33,381	32,738	32,474	32,060								
		30.1	25.0	22.8	18.5	16.3	11.8	7.3	5.1	0.0								
817.8	203	36,637	35,618	35,227	34,426	34,077	33,417	32,769	32,509	32,064	31,893							
		33.7	28.5	26.3	22.1	19.8	15.3	10.9	8.6	4.2	1.9							
846.8	174	36,642	35,619	35,228	34,482	34,128	33,468	32,877	32,561	32,120	31,935	31,658						
		37.2	32.1	29.9	25.6	23.4	18.9	14.4	12.2	7.7	5.5	1.0						
875.8	145	36,797	35,774	35,387	34,636	34,287	33,623	33,032	32,772	32,275	32,094	31,813	31,632					
		40.8	35.7	33.4	29.2	26.9	22.5	18.0	15.7	11.3	9.0	4.6	0.0					
904.8	116	36,879	35,860	35,469	34,775	34,422	33,762	33,119	32,854	32,413	32,229	31,951	31,714	31,645				
		44.4	39.2	37.0	32.7	30.5	26.0	21.5	19.3	14.8	12.6	8.1	3.6	1.4				
933.8	87	37,009	35,986	35,599	34,901	34,552	33,835	33,244	32,980	32,539	32,359	32,025	31,840	31,771	31,712			
		47.9	42.8	40.5	36.3	34.0	29.6	25.1	22.9	18.4	16.1	11.7	7.2	5.0	0.0			
962.8	58	37,197	36,179	35,788	35,041	34,688	34,028	33,437	33,173	32,680	32,495	32,218	32,028	31,911	31,829	31,811		
		51.5	46.3	44.1	39.8	37.6	33.1	28.6	26.4	21.9	19.7	15.2	10.8	8.5	4.0	1.8		
991.8	29	37,462	36,439	36,053	35,302	34,953	34,289	33,698	33,433	32,940	32,756	32,478	32,294	32,172	32,090	32,071	32,122	
		55.0	49.9	47.6	43.4	41.1	36.7	32.2	30.0	25.5	23.3	18.8	14.3	12.1	7.6	5.4	0.0	
1,020.8	0	37,933	36,914	36,523	35,829	35,475	34,764	34,168	33,908	33,467	33,283	32,953	32,764	32,699	32,613	32,598	32,556	32,607
		58.6	53.4	51.2	46.9	44.7	40.2	35.8	33.5	29.0	26.8	22.3	17.9	15.6	11.2	8.9	4.4	0.0

록 선정하는 것이 적정하며, 추운 지역에서는 이 보다 낮게 적용하는 것이 좋다. 이를 토대로 동절기를 고려하여 태양의존율 60%를 기준으로 태양열급탕 시스템의 적정용량을 계산한 결과 집열기

240 m<sup>2</sup>로 급탕부하를 담당하고 나머지부하를 보일러를 설치하여 충당할 경우, 전체가스사용량은 가스발열량 10,550 kcal/Nm<sup>3</sup>를 기준으로 하였을 때의 연간 가스소비량은 13,811 Nm<sup>3</sup>으로 보일



리로 모든 급탕부하를 담당할 경우와 비교하여 약 42%의 급탕에너지를 절약할 수 있을 것이다. 따라서 태양열의존율에 따른 적정 집열기용량을 고려할 경우, 멀티형 지열원 히트펌프 261 kW + 태양열집열기 240 m<sup>2</sup> + 고효율 전기식 냉난방기(EHP) 759.8 kW를 적용하는 것이 효율적인 것으로 나타났다.

## 5.2 대안 설정

대규모의 학교의 대표면적은 13,000 m<sup>2</sup>으로 건축 공사비는 약 109억 원이다. 이 공사비의 5%인 약 5억 4천만 원을 신·재생에너지설비에 투자할 시에 제안한 대안은 Table 10과 같다.

## 5.3 에너지비용 비교

에너지비용을 계산한 결과는 Fig. 4와 같다. 대안 1과 대안 2의 에너지비용의 차이는 고효율 전기식 냉난방기(EHP)과 GHP시스템의 에너지비용 차이로 고효율 전기식 냉난방기(EHP)가 GHP시스템보다 COP가 더 크며 GHP시스템이 에너지원으로 가스를 사용하기 때문에 상대적으로 높은 가스 단가로 인해 에너지비용이 큰 것으로 판단된다. 대안 2과 대안 3의 에너지비용의 차이는 멀티형 지열원히트펌프와 물-물 지열원히트펌프의 에너지비용 차이에서 오는 것으로 추가적인 실내측 순환펌프의 동력소요, 상대적으로 낮은 COP로 에너

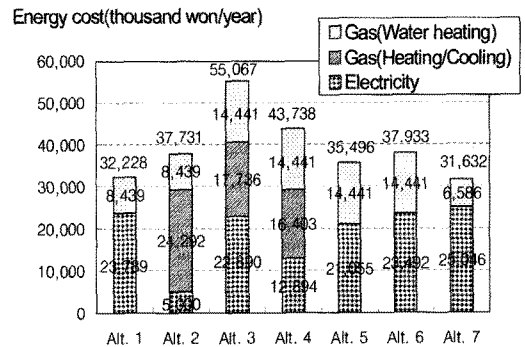


Fig. 4 Energy cost of alternatives.

지비용이 증가된 것으로 판단된다. 대안 7의 연간 에너지비용은 31,632천원으로 가장 비용이 적게 드는 것으로 나타났으며, 대안 1과 5도 에너지효율이 높은 것으로 나타났다.

## 5.4 초기투자비용 비교

초기투자비용을 계산한 결과(Table 11), 대안별 초기투자비 중 가장 적은 비용이 드는 것은 멀티형 지열원히트펌프, 고효율 전기식 냉난방기(EHP)를 적용한 대안 5이다. 총 초기투자비용이 874,244천원으로 나타났으며 이는 태양열집열기 설치비용으로 인해 멀티형 지열원히트펌프 설치용량이 줄어들고 고효율 전기식 냉난방기(EHP) 설치용량이 커졌기 때문이다. 대안 3의 경우, 장비비는 적게 드나 배

Table 10 Systems of alternatives

Alt.	Cooling/heating method		Hot water supply method
Alt. 1	Multi-type geothermal heat pump system 261 kW	EHP 759.8 kW	Solar collector 240 m <sup>2</sup> + Boiler
Alt. 2	Multi-type geothermal heat pump system 261 kW	GHP 759.8 kW	Solar collector 240 m <sup>2</sup> + Boiler
Alt. 3	Water-water geothermal heat pump 475.6 kW	Absorption chiller 150 RT	Boiler 250,000 kcal/h
Alt. 4	Water-water geothermal heat pump 475.6 kW	GHP 545.2 kW	Boiler 250,000 kcal/h
Alt. 5	Multi-type geothermal heat pump system 475.6 kW	EHP 545.2 kW	Boiler 250,000 kcal/h
Alt. 6	Photovoltaic system 59 kW	EHP 1020.8 kW	Boiler 250,000 kcal/h
Alt. 7	Multi-type geothermal heat pump system 145 kW	EHP 875.8 kW	Solar collector 364 m <sup>2</sup> + Boiler

Table 11 Initial investment cost of alternatives

[unit: thousand won]

Alt.	A	B	C	D	Total
Alt. 1	547,140	129,267	141,520	96,800	914,727
Alt. 2	547,140	344,817	141,520	96,800	1,130,277
Alt. 3	542,184	139,375	121,455	395,524	1,198,538
Alt. 4	542,184	249,929	103,479	233,525	1,129,117
Alt. 5	542,184	93,740	141,520	96,800	874,244
Alt. 6	548,700	146,306	141,520	96,800	933,326
Alt. 7	543,860	149,155	141,520	96,800	931,335

A: New and renewable energy installation cost.

B: Additional equipment cost.

C: Indoor unit installation cost.

D: Piping cost.

관공사비에 타 대안에 비해 높아 초기투자비가 가장 큰 것으로 나타났다.

6는 에너지비용과 초기투자비용이 모두 높았기 때문에 총 생애주기비용이 가장 높은 것으로 나타났다.

5.5 LCC 비교

LCC평가를 위해 초기투자비는 앞서 산정한 대안별 초기투자비를 이용하였다. 신·재생에너지시스템의 유지관리비는 고려하지 않았으며 고효율 전기식 냉난방기(EHP)의 유지관리비는 기기가격의 0.75%를 적용하였다.<sup>(2)</sup>

대안 2, 3과 4는 초기투자비, 에너지비용이 모두 높아 LCC 분석에서 제외하였다. 대안 1, 5, 6, 7에 대해서 총 생애비용을 계산한 결과(Fig. 5), 대안 5가 총 생애주기비용이 가장 낮은 것으로 나타났다. 대안 1과 7은 대안 5와 비교하여 에너지비용이 낮았지만 에너지비용의 차가 크지 않고 기기교체로 인해 투자비회수가 불가한 것으로 나타났다. 대안

6. 결 론

신·재생에너지 의무투자비율인 건축공사비 5%의 비용한도 내에서 멀티형 지열원 히트펌프 시스템, 고효율 전기식 냉난방기(EHP)을 연계한 복합 시스템과 타 신·재생에너지 및 냉·난방시스템을 비교 평가한 결과, 에너지비용은 대안 7 < 대안 1 < 대안 5 < 대안 2 < 대안 6 < 대안 4 < 대안 3 순으로 증가하였다.

초기투자비는 대안 5 < 대안 1 < 대안 7 < 대안 6 < 대안 4 < 대안 2 < 대안 3 순으로 증가하였으며 LCC분석 결과, 대안 5가 학교시설에 적합한 시스템으로 도출되었다.

연면적 13,000 m<sup>2</sup>, 36학급 중규모 학교의 최적 1안은 멀티형지열히트펌프 475.6kW + 고효율 전기식 냉난방기(EHP) 545.2kW이고 최적 2안은 멀티형 지열원 히트펌프 261kW + 태양열집열기 240m<sup>2</sup> + 고효율 전기식 냉난방기(EHP) 759.8kW으로 도출되었다.

참고문헌

1. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and Sim, C. H., 2004, Ground source heat pump systems : a technology review, Proceeding of the SAREK 2004 Summer Annual Conference, pp. 1306-1316.

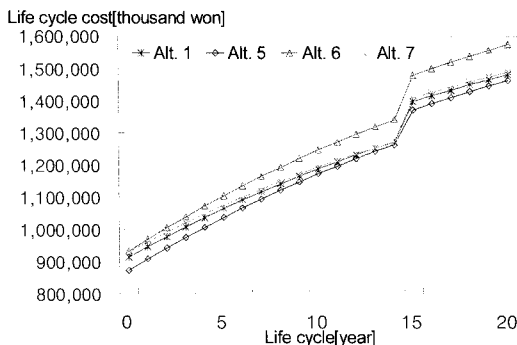


Fig. 5 LCC of alternatives.

2. Kim, Y. I., 2005, Cost analysis of cooling and heating methods, Proceeding of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp.1214-1233.
3. Sohn, B. H., Cho, C. S., Shin, H. J. and An, H. J., 2005, Cooling and heating performance evaluation of a gshp system, Korean Journal of SAREK, Vol. 17, No. 1, pp. 71-81.
4. Baek, N. C., Yoo, C. K., Yoon, E. S., Yoo, J. Y. and Yoon, J. H., 2002, Active solar heating system design and analysis for the zero energy solar house active solar heating system design and analysis for the zero energy solar house, Journal Of Korean Solar Energy Society, Vol. 22, No. 4, pp. 1-9.
5. Korea Institute of energy Research, 2002, Remodeling method considering inverter heating/cooling system on small office building, Report of Korea Institute of energy Research.