

# 학교건물의 신·재생에너지기반 복합시스템 간이평가 기법 연구

- 학급규모와 투자비 중심으로 -

## A Study on Simplified Evaluation for Renewable Energy based Combination System in School

- Considering the Size of Classroom and Capital Cost -

김 지 연\*

Kim, Ji-Yeon

### Abstract

Schools are one of favorable public buildings for Renewable Energy(RE) systems due to site conditions and their energy demand profiles(e.g. daytime-based use of hot water and heating/cooling). Although the government encourages schools to be equipped with RE systems, the adoption of RE systems in existing energy supply systems faces technical and financial barriers. For example, when installing a RE-based combination system(RECS) to meet the energy demand at various school scales, identifying cost effective combination of capacities of the RECS is not trivial since it usually requires technically intensive work including detailed simulation and demand/supply analysis with extensive data. This kind of simulation-based approaches is hardly implementable in practice. To address this, a simpler and applicable decision-supporting method is suggested in this study. This paper presents a simplified model in support of decision-making for optimal capacities of RECS within given budget scales and schools sizes. The proposed model was derived from detailed simulation results and statistical data. Using this model, the optimal capacities of RECS can be induced from the number of classes in a school.

키워드 : 신·재생에너지기반 복합시스템, 태양열급탕시스템, 태양광시스템, 지열히트펌프시스템

Keywords : Renewable energy based combination system, Solar water heating system, Photovoltaic systems, Geothermal heat pump system

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

국내의 학교시설은 산업자원통상부고시 제2012-18호 공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정에서 신·재생에너지설비 설치를 의무화하고 있다. 정부는 공공기관이 신축하는 연면적 3,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 총 건축공사비의 5% 이상을 신·재생에너지설비 설치에 투자하도록 의무화하기 시작하여 현재 신·중·개축하는 연면적 1,000㎡ 이상의 건축물에 대하여 예상에너지사용량의 11% 이상을 설치·투자하도록 의무화하고 있다.<sup>1)</sup>

현재 우리나라는 녹색 뉴딜사업의 일환으로 초·중·고교에 신재생에너지설비 설치사업을 추진하고 있다. 이와 관련

하여 냉·난방에너지를 절감하기 위해 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 성능을 평가하고 분석한 논문이 있다.[1] 여기서 지열원 냉난방시스템을 적용할 경우 기존 학교의 냉난방에너지의 70%를 절감할 수 있는 것으로 나타났다.

학교시설의 신·재생에너지 적용을 위한 수요/공급을 분석한 논문에 따르면 신·재생에너지시스템을 고려할 때, 전력수요 패턴과의 일치도에 따라 태양광 패널과 풍력발전기의 수가 결정되며 급탕패턴에 따라 태양열 집열기의 설치 수가 결정됨을 알 수 있다.[2]

또한 초등학교건물에 20kW급 태양광발전시스템의 성능 및 경제성을 분석한 결과에 따르면 태양광시스템의 연 평균 발전효율은 12.8%이고 평균 전력부하 부담률은 18.8%로 비용/편익분석의 관점으로 보았을 때, 경제성은 크게 떨어지는 것으로 나타났다.[3]

학교시설의 고효율 태양열 냉난방시스템 최적화를 위해 열경제학적으로 분석한 논문에 따르면 TRNSYS 프로그램을 통해 태양열 냉난방시스템을 분석한 결과, 1차 에너지절

\* 주저자, 한국감정원 녹색건축센터, 부연구위원/공학박사  
(zeonholic@gmail.com)

1) 신에너지 및 재생에너지개발 이용보급 촉진법 제12조 제2항 및 동법시행령 제 15조

감율은 64.7%로 나타났으며 겨울철과 여름철의 태양열의존율은 각각 46.2%, 27.7%로 나타났다. 설치지원금을 받는 조건하에 단순투자비 회수기간은 12년으로 나타났다.[4]

위 논문들을 살펴볼 때 학교시설에 신·재생에너지시스템을 설치할 경우, 경제성은 떨어지는 결과를 보였으며 대부분 학교시설에는 단일 신·재생에너지시스템에 대한 연구만 진행되고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 현재 학교시설에 신·재생에너지설치를 의무화하고 있기 때문에 신축공사 시설치를 검토하고 시행하고 있지만 설치 가이드라인이 충분치 않아 학교시설의 특성을 살펴 에너지비용과 운영비용을 최소화할 수 있는 효율적인 설치방안을 제시하기 어렵다. 그리고 성능이 좋은 신·재생에너지 설비기기가 도입되고 정책이 앞서간다고 하여도 교육시설의 신·재생에너지에 대한 도입 규모 등에 대한 적절한 용량 기준이 없는 실정이다. 이에 학교시설에 적합한 최적시스템을 구축하고 이에 대한 경제성이 분석되고 평가되지 않는다면 에너지절약을 기대할 수 없을 뿐만 아니라 시스템 구축에 어려움이 따를 것으로 예측된다.

따라서 본 연구의 목적은 신·재생에너지의 효과적인 설치를 위해 동일한 초기투자비 내에서 에너지비용을 최소화할 수 있으며 학교시설에 적용이 가능한 간이 신·재생에너지 적용프로그램을 개발·분석하고 그에 적합한 최적용량을 제안하는데 있다.

### 1.2 연구의 방법 및 내용

본 논문의 주목적은 학교건물에 적용할 수 있는 신·재생에너지시스템의 최적용량을 선정할 수 있는 방안을 마련하는 것이다. 본 연구에서는 Matlab 프로그램을 이용하여 동일투자비 대비 단일 신·재생에너지시스템이 아니라 적용이 가능한 여러 신·재생에너지시스템을 조합하여 최적의 용량을 찾을 수 있는 간이프로그램을 개발하고 이를 이용하여 교실의 이용률이 높은 고등학교를 대상으로 신·재생에너지기반 복합시스템의 최적용량을 분석하였다.

## 2. 신·재생에너지복합시스템 간이평가모형

### 2.1 학교시설에 적용 가능한 신·재생에너지시스템

서론에서 살펴보았듯이 기존의 학교시설과 신·재생에너지 관련 논문을 살펴보면 단일 신·재생에너지시스템을 실제로 설치하여 측정된 데이터를 분석하거나 시뮬레이션을 통해 성능과 경제성을 분석하고 연구한 논문이 대부분을 차지하고 있다. 그리고 학교시설의 전력부하와 냉난방부하 패턴을 고려하여 신·재생에너지기반 복합시스템을 적용하고 최적화한 논문은 전무한 실정이다. 따라서 본 논문을 통해 국내 학교시설에 적합한 신·재생에너지기반 복합시스템을 선정하고 최적용량을 제시한다면 건물계획단계에서부터 용이하게 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

건물에 적용이 가능한 신·재생에너지시스템은 전력공급을 할 수 있는 태양광, 풍력, 연료전지, 소수력발전시스템 등이 있다. 냉난방과 급탕부하를 담당할 수 있는 시스템은

지열과 태양열 등이 있으며 자연형 태양열 디자인을 통해 냉난방부하와 환기부하를 절감할 수 있다.

풍력시스템의 경우 일정 풍속 미만이거나 이상일 때에 발전이 제한되며 소음으로 인한 불쾌감으로 수업에 방해될 수 있으며, 소수력발전시스템은 일정한 유속이 흐르는 하천 주변에 학교가 위치해 있어야 하기 때문에 장소의 제약이 따른다. 따라서 학교시설에 적용이 가능한 설비형 신·재생에너지시스템으로 히트펌프시스템, 태양광발전시스템, 태양열급탕시스템을 선정하는 것이 바람직하다.

<그림 1>은 본 연구에서 제안한 신·재생에너지기반 복합시스템의 개념도이다. 냉·난방부하는 전기구동히트펌프(EHP)와 지열히트펌프가 담당하며 히트펌프의 전력부하의 일부는 태양광발전시스템에서 공급할 수 있도록 하였다. 태양열 집열기를 통해 발생된 열은 축열조에 저장되며 부족한 급탕부하는 가스보일러가 담당하도록 하였다. 건물부하는 공기열원과 지열원, 급탕부하는 태양열원 그리고 히트펌프에서 발생된 전력부하는 태양광발전시스템으로 충당함으로써 학교시설에 전기와 가스소비량 및 요금을 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

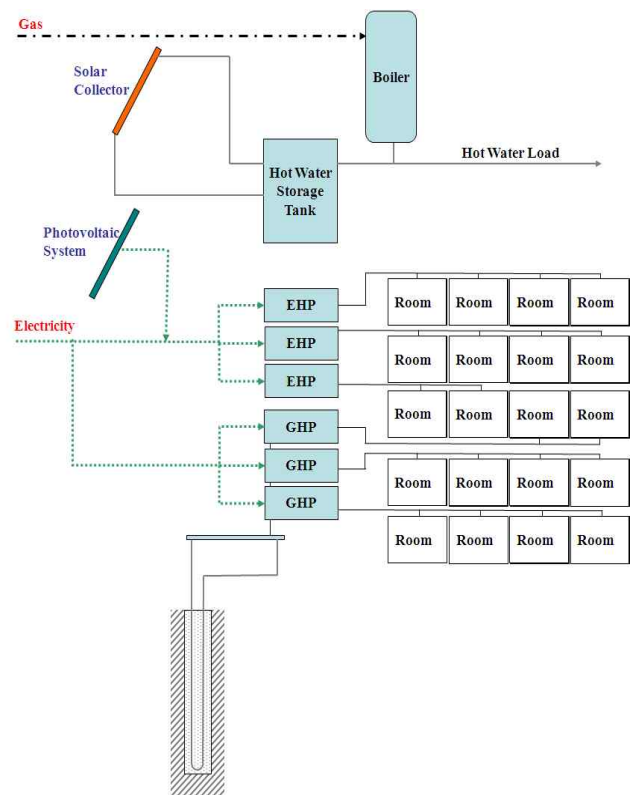


그림 1. 신·재생에너지기반 복합시스템의 개념도

### 2.2 간이평가모형 정립

학교건물의 신·재생에너지기반 복합시스템 간이평가프로그램의 개발을 위해 평가모형의 이론전개 결과를 종합하여 평가단계별로 요약하면 <그림 2>와 같다.

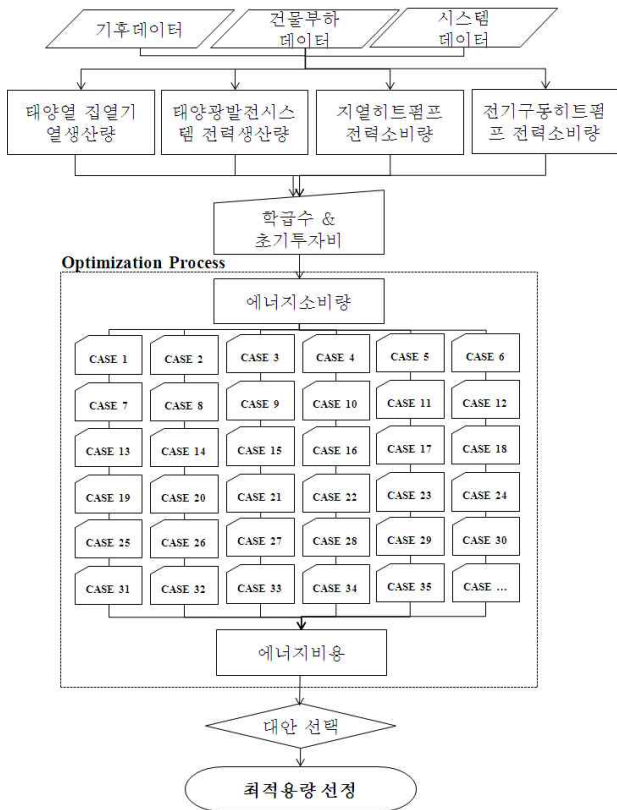


그림 2. 프로그램 계산흐름도

기후데이터, 부하데이터, 그리고 시스템관련데이터를 입력하게 되면 태양열급탕시스템과 태양광발전시스템의 집열량과 발전량에 가장 큰 영향을 미치는 요인인 경사면의 일사량이 계산된다. 이에 따라 단위 모듈당 각각 집열량과 발전량, 전력소비량을 산정할 수 있게 된다.

그 다음 단계는 투자비와 학급수를 입력하면 설치할 수 있는 태양열 집열기 면적, 태양광발전용량, 지열히트펌프용량과 EHP용량이 출력된다. 동일투자비 대비 각각의 대안들에 대한 1년 동안의 시간별 가스소비량과 전기소비량과 피크전기부하가 출력되면 입력된 월별 가스단가, 전기기본요금, 전기단가와 함께 전기요금과 가스요금이 출력되고 최종적으로 에너지요금이 계산된다. 동일투자비 대비 대안들에 대한 에너지요금 중 가장 적은 요금이 나온 대안이 최적 대안으로 출력된다.

여기서 급탕부하는 가스보일러와 태양열급탕시스템이 분담하며, 집열량에 의해 보일러 운전에 의한 가스소비량은 감소하게 된다. 학급의 냉·난방부하는 지열히트펌프와 EHP가 담당하며 지열히트펌프의 전력소비량과 EHP의 전력소비량에 태양광발전시스템에 의한 발전량을 감하게 되면 최종적인 전력소비량이 계산된다.

### 3. 입력데이터 및 건물부하데이터

기상데이터는 대전지역의 1999~2004년까지의 시간평균 데이터를 이용하였다. 냉·난방부하를 계산하기 위해 <그림 3>과 같이 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 스케줄이 필요하며, 이에 대한 각각의 스케줄을 작성하였다. 이 중 냉·난방 및 환기는 건물의 공조방식 및 현행 법규를 고려하여 설정하였으며. 그리고 각 실의 특성에 맞게 존을 구획하고 구획 후 건물외벽, 창호의 면적과 물성치를 입력하여 건물부하를 계산하기 위한 모델링을 수행하였다.[5]

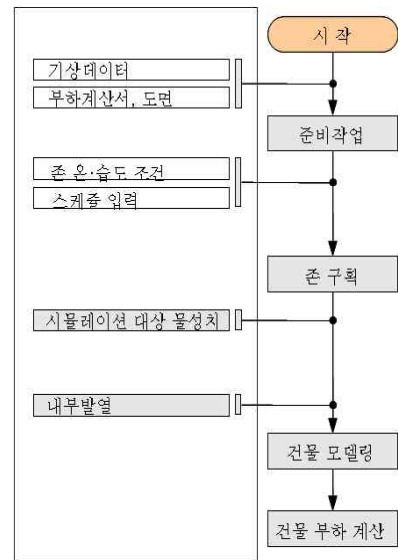


그림 3. 부하시물레이션 흐름도

### 3.1 냉난방부하

일반교실의 위치는 최상층, 최하층, 측면 등의 다양한 곳에 위치한다. 따라서 위치에 따라 부하의 크기 차이가 있을 수 있다. 하지만 지역별, 적용용량크기에 따른 에너지사용량을 시물레이션하기 위해서는 일반 교실의 냉·난방부하를 모듈화시켜 에너지시물레이션을 영향을 줄 수 있는 변수를 최소화시켜야 할 것이다.

재실자(학생, 교직원 등)의 실제 실 사용기간을 조사하기 위해 각 학교의 시정표, 월간행사계획표, 보충수업일정 및 시간표를 수집하여 실제 고등학교 교실의 냉·난방부하 스케줄을 작성하였다. 서울을 제외한 기타지역의 평균정규수업시간은 1,323시간이며 평균 보충수업 및 자율학습시간은 1,174시간으로 전체 수업시간의 47%를 차지하였다. 거의 대부분의 학생이 보충수업과 자율학습에 참여하고 있었으며 오후 10:00나 11:00까지 교실을 이용하고 있는 것으로 나타났다. 일반 교실 한 학급의 평균부하를 TRNSYS를 이용하여 계산하였으며, <그림 4>와 같이 학급당 평균부하모듈을 작성하였다.

1월과 8월은 보충수업기간으로 인해 교실에 냉·난방을 하기 때문에 부하가 큰 것으로 나타났다. 최대냉방부하는 약 8.3kW(8월 6일)이며 최대난방부하는 약 5.8kW(1월 8일)으로 나타났다. 또한 2월은 각종 행사(졸업식, 입학식)나 춘계 방학으로 인한 휴일이 많아 난방부하가 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

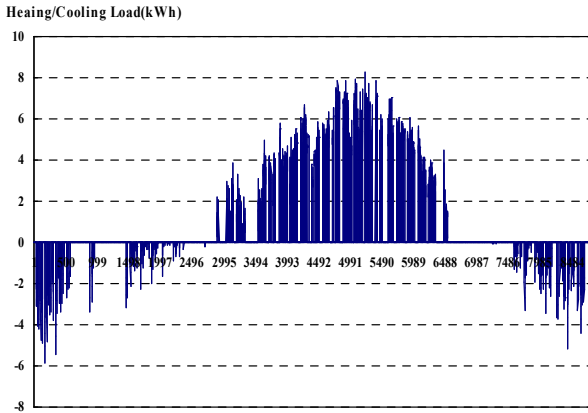


그림 4. 학급당 냉난방부하(67.5㎡)

### 3.2 급탕부하

학교의 급탕부하는 크게 식당의 취사와 세척을 위한 부하와 화장실의 온수사용을 위한 부하가 있다. 학교시설에서 온수의 90% 이상은 급식실에 쓰인다. 따라서 급식실의 급탕부하를 중심으로 급탕부하를 산정하는 것이 바람직할 것이다.

급탕부하를 계산하기 위해 급탕량을 산정하는 방법으로는 건물의 급탕대상 인원이 정확한 경우에 거주자의 1일 사용수량을 설정하고 거주인원에 의하여 사용수량을 산정하거나 급탕대상 인원이 확실하지 않은 경우는 기구수에 의한 방법이 있다.[6] 학급수에 따라 학교상주인원인 학급수에 따른 교직원과 학생수를 조사한 결과 <그림 5>와 같이 학급수에 비례하여 증가하는 것으로 나타났으며 학급수에 비례하여 학급규모별 급탕부하를 산정하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

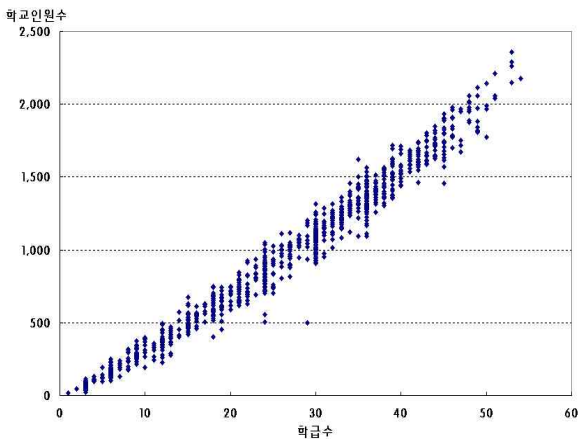


그림 5. 학급규모에 따른 학교인원수

학교시설 조사 결과 고등학교 급식은 중식과 석식으로 나뉜다. 각 학교의 내부방침에 따라 방과 후 보충학습이 선택인 학교와 필수인 학교로 구분이 되기 때문에 중식은 학생과 교직원이 대부분 이용하지만 저녁급식은 개인의 선택에 맡기거나 필수인 학교로 나누어졌다. 대부분의 학교 급식실의 보일러의 가동시간은 평균적으로 7:00~19:00이었다.

이를 토대로 일일 시간별 부하비율을 계산하였다.

### 3.3 설치 및 에너지비용

본 연구에 적용된 신·재생에너지원별 설치단가는 해마다 에너지관리공단에서 공시하고 있으며, 공단에 제시된 설치단가를 이용하여 분석하였으며 2011년 설치단가를 기준으로 하였다.

전력요금은 기본요금과 사용요금의 합으로 이루어지며 교육용 건물의 전력요금은 주거용 건물과 타 건물에 비해 저렴한 편으로 <표 1>과 같다. 기본 전력요금은 지난달의 사용전력 중 최대 사용전력을 선택하여 기본요금 책정에 적용된다. 조사 결과, 모든 학교가 고압A 선택 I의 요금을 적용하였다. 따라서 에너지비용 계산 시 고압A 선택 I의 요금을 적용하였다.

표 1. 교육용 건물의 전력요금(2011년)

구분	기본요금 (원/kWh)	전력량 요금			
		여름철 (7~8월)	봄·가을철 (3~6, 9~10월)	겨울철 (11~2월)	
저압전력	4,090	73.00	46.90	53.10	
고압A	선택 I	4,340	72.60	46.70	52.90
	선택 II	4,970	69.30	43.50	49.30
고압B	선택 I	4,340	72.20	46.30	52.40
	선택 II	4,970	68.80	43.10	48.80

<표 2>의 가스요금은 비주기적으로 요금이 갱신되고 지역마다 차등 적용되기 때문에 대전요금을 기준으로 하며 대전지역의 요금도 구역마다 담당하는 회사가 다르기 때문에 2011년 대전지역평균값을 기준으로 적용하였다. 여기서 가스의 발열량은 10,550kcal/Nm<sup>3</sup>으로 가정한다. 가스요금은 취사용과 냉·난방용 가스요금이 구분되어 있다.

표 2. 가스요금(2011년)

구분	냉·난방용	취사용
1~2월	588.14	581.01
3~4월	574.08	570.47
5~6월	596.79	587.50
7~8월	613.26	608.55
9~10월	653.73	631.41
11~12월	669.89	665.40

## 4. 시스템별 에너지소비량

### 4.1 경사면 일사량

본 연구에 적용된 시뮬레이션 대상 지역은 대전이며 대전지역의 위도는 36.18°, 경도는 127.25°이다.

<그림 6>은 경사면이 받을 수 있는 일사량을 시뮬레이션한 결과, 주어진 대전지역 연간 수평면 전일사량은 1,220.83 kWh이었으며, 경사면이 30°일 때 총 일사량은 연간 1,209.76 kWh로 일정한 분포를 보이고 있었다.

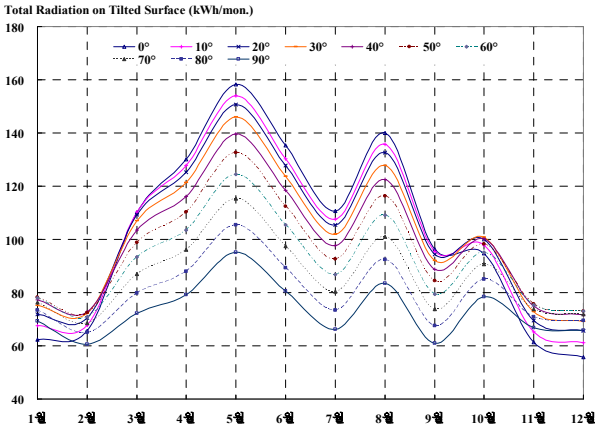


그림 6. 경사면의 총일사량

### 4.2 태양열 집열기(2m<sup>2</sup>)의 집열량

본 연구에 적용된 집열기는 유창형/진공관형 집열기로 집열량을 구할 수 있으며, <표 3>의 집열기 사양을 갖는다.

표 3. 태양열 집열기 사양

집열기 총 면적	2.28m <sup>2</sup>
FRUL	0.70W/m <sup>2</sup> ·°C
FR(τ <sub>a</sub> )	0.58
집열기 경사각	30°
방위각	0°
집열기 유량/면적	0.02kg/sec·m <sup>2</sup>
유체 비열	4.18kJ/kg·°C

태양열 집열기의 집열량을 분석한 결과, <그림 7>에서 알 수 있듯이 2m<sup>2</sup>의 유효집열면적을 가진 집열기의 집열량은 연간 1,278kWh로 약 52.8%의 집열 효율을 나타냈다. 집열량이 가장 많이 발생하는 월은 5월과 8월로 각각 156.41kWh/mon.와 135.61kWh/mon.을 집열할 수 있는 것으로 나타났다.

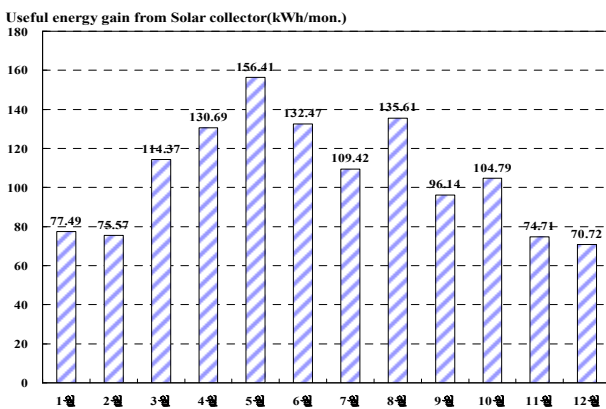


그림 7. 태양열 집열기(2.28m<sup>2</sup>)의 집열량

### 4.3 태양광발전시스템(1kWp)의 발전량

$\eta_r$ , NOCT와  $\beta_p$ 는 적용하려는 PV모듈에 영향을 받는

다. 이들은 사용자에게 의해 입력되거나 표준기술에 의거하여 <표 4>의 값을 토대로 적용하면 된다.

본 연구에는 단결정 실리콘 재료의 PV모듈을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.[7]

표 4. 결정종류에 따른 공칭효율 및 온도계수

Section	$\eta_r$ (%)	NOCT(°C)	$\beta_p$ (%/°C)
Mono-Si	13.0	45	0.40
Poly-Si	11.0	45	0.40
a-Si	5.0	50	0.11
CdTe	7.0	46	0.24
CIS	7.5	47	0.46

주)  $\eta_r$ : 표준온도시 PV모듈의 효율, NOCT: 일반발전시 Cell온도,  $\beta_p$ : 온도에 의한 변환효율  
 Mono-Si(Mono Silicon), Poly-Sii(Poly Silicon), a-Si(Amorphous Silicon), CdTe(Cadmium Telluride), CIS(Copper Indium Diselenide)

태양광발전시스템을 분석한 결과, <그림 8>에서 알 수 있듯이 1kWp의 발전용량을 가진 PV array의 발전량은 연간 1,136.42kWh로 약 10.78%의 발전효율을 나타냈다. 집열량이 가장 많이 발생하는 월은 5월과 8월로 각각 135.06kWh/mon.와 112.92kWh/mon.의 전력을 생산할 수 있는 것으로 나타났다.

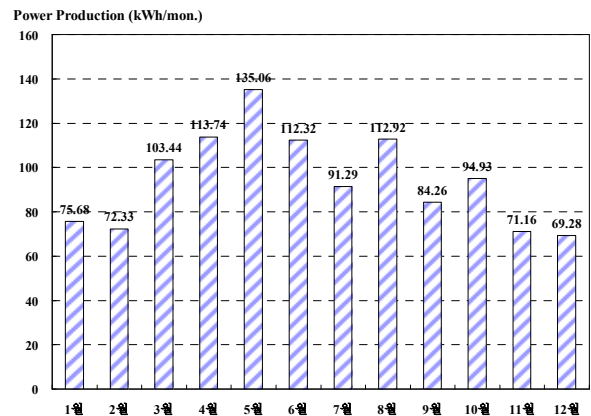


그림 8. 태양광발전시스템(1kWp)의 발전량

### 4.4 지열히트펌프시스템(55kW)의 소비량

본 연구에서 적용된 지열히트펌프는 물-냉매방식의 히트펌프로 전부하 운전조건에서 냉방시 열원수 인입온도 30°C일 때 EER은 5.0이며 난방시 열원수 인입 온도 20°C일 때 COP는 5.43이다. L사 제품의 성능표를 이용하여 성능곡선을 작성하고 시뮬레이션의 입력자료로 사용하였다. <그림 9>는 55kW급 용량의 지열히트펌프시스템의 전력소비량이다. 냉방전력소비량은 연간 2,753.34kWh이고 난방전력소비량은 연간 389.70kWh로 나타났다. 고등학교의 특성상 채실밀도가 높아 난방부하는 감소, 냉방부하는 증가하고 여름방학에는 보충수업과 자율학습으로 인해 냉방부하가 7월과 8월에 증대하기 때문인 것으로 판단된다. 그리고 성능계수도 난방시 더 높게 나타나며 부분부하에 따른 효과도 작용된 것으로 판단된다.

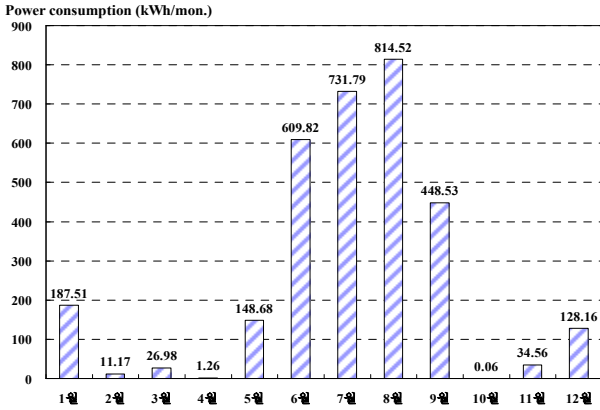


그림 9. 지열히트펌프시스템(55kW)의 전력소비량

### 5. 투자비와 학급별 신·재생에너지시스템 최적용량 분석

학급수와 투자비별 최적용량을 같은 모듈조건을 기준으로 최적용량을 프로그램을 이용하여 분석하였으며 그 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5>를 기준으로 투자비에 따른 태양열급탕시스템의 최적용량을 산정한 결과, <그림 10>을 살펴보면 태양열급탕시스템은 투자비와 학급수에 따라 최적면적이 증가하지만 동일투자비 내에서 특정 학급수 이상이 되면 일정해지는 분포를 보이고 있었다. 1억을 투자할 경우 14~16학급의 최적 집열 면적은 66㎡, 17~21학급의 최적 집열 면적은 80㎡, 22학급 이상의 학교의 최적 집열 면적은 86㎡로 일정하게 나타났다. 2억을 투자할 경우 학급수 구간별로 일정한 면적의 보이고 29학급 이상이 되면 최적 집열 면적은 134㎡로 일정하게 나타났다. 3억을 투자할 경우 34~36학급의 학교의 최적 집열 면적은 178㎡로 나타났으며 37학급 이상이 되면 면적은 190㎡로 일정해지기 시작했다. 5억을 투자할 경우, 15~19학급은 122㎡의 태양열급탕시스템을 설치하는 것이 가장 최적인 대안으로 나타났다.

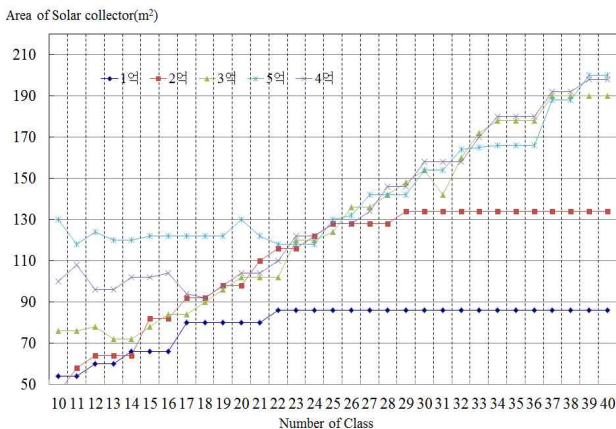


그림 10. 학급수별, 투자비별 최적 태양열 집열기 면적

투자비가 최적용량에 비례하지 않고 투자비에 따라 특정 학급 이상이 되면 일정해지기 시작한다는 것을 알 수 있다.

이는 학급수에 따른 급탕부하는 정해져 있고 이에 대응되는 집열기의 집열량이 면적이 증가되면 면적증가에 따른 잉여열증가로 인해 면적 대비 가스소비량의 절감효과를 보지 못하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 투자비의 증가가 에너지나 비용효율적이지 않고 각 학급에 맞는 최적 집열 용량과 최적투자비가 있는 것으로 판단되며 학교시설에 신·재생에너지시스템 설계 시 투자비도 중요한 요소이지만 태양열급탕시스템의 최적 집열 용량 선정 시 급탕부하에 적절히 대응할 수 있도록 설계를 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

투자비에 따른 지열히트펌프의 최적용량을 산정한 결과, <그림 11>을 살펴보면 지열히트펌프는 학급수에 따라 용량이 증가하다가 특정학급 이상에 되면 다시 감소하는 분포를 보이고 있었다. 1억을 투자할 경우 10~11학급 이상의 학교의 지열히트펌프 최적용량은 11kW로 나타났으며 12학급 이상의 학교는 지열히트펌프를 적용하지 않고 단일 태양열급탕시스템을 설치하는 것이 에너지소비절감이 큰 것으로 나타났다. 3억을 투자할 경우 15학급까지 지열히트펌프의 최적 용량의 증가를 보이다가 이후 다시 용량이 감소하는 추세를 보였다. 4억을 투자할 경우 18~19학급 사이에서 증가하다가 감소되는 추세를 보였으며 5억을 투자할 경우 23학급까지는 198kW의 용량에서 점점 감소하다가 그 이상 학급수가 되면 지열히트펌프를 적용하지 않는 것이 적합한 것으로 나타났다.

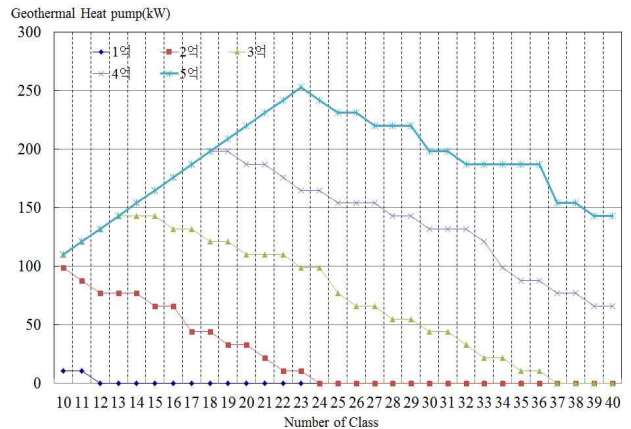


그림 11. 학급수별, 투자비별 최적 지열히트펌프용량

투자비에 따른 태양광발전시스템이 최적용량을 산정한 결과, <그림 12>를 살펴보면 1억을 투자할 경우 22학급 이상의 학교의 태양광발전시스템 최적용량은 0kW로 나타났으며 2억을 투자할 경우 29학급 이상의 학교는 6kW급 태양광발전시스템을 설치하는 것이 적합한 것으로 나타났다. 3억을 투자할 경우 11학급의 최적용량은 10kW이며 점점 감소하다가 23학급 이상부터 다시 증가하는 추세를 나타냈다. 4억을 투자할 경우 11학급의 최적용량은 20kW이며 점점 감소하다가 19학급 이상부터 다시 증가하는 추세를 나타냈다. 5억을 투자할 경우 11학급의 최적용량은 29kW이며 점점 감소하다가 23학급 이상부터 다시 증가하는 추세를 나타냈다.

표 5. 투자비별 최적 용량

학급	투자비	태양열 (m <sup>2</sup> )	태양광 (kWp)	지열 (kW)	EHP (kW)	학급	투자비	태양열 (m <sup>2</sup> )	태양광 (kWp)	지열 (kW)	EHP (kW)
11	1억	54	3	11	110	26	1억	86	0	0	286
	2억	58	3	88	33		2억	128	7	0	286
	3억	76	8	121	0		3억	136	8	66	220
	4억	108	17	121	0		4억	128	8	154	132
	5억	118	29	121	0		5억	132	7	231	55
12	1억	60	4	0	132	27	1억	86	0	0	297
	2억	64	4	77	55		2억	128	7	0	297
	3억	78	6	132	0		3억	136	8	66	231
	4억	96	17	132	0		4억	134	7	154	143
	5억	124	26	132	0		5억	142	8	220	77
13	1억	60	4	0	143	28	1억	86	0	0	308
	2억	64	4	77	66		2억	128	7	0	308
	3억	72	5	143	0		3억	142	9	55	253
	4억	96	15	143	0		4억	146	7	143	165
	5억	120	25	143	0		5억	142	8	220	88
14	1억	66	3	0	154	29	1억	86	0	0	319
	2억	64	4	77	77		2억	134	6	0	319
	3억	72	5	143	11		3억	148	8	55	264
	4억	102	12	154	0		4억	146	7	143	176
	5억	120	23	154	0		5억	142	8	220	99
15	1억	66	3	0	165	30	1억	86	0	0	330
	2억	82	3	66	99		2억	134	6	0	330
	3억	78	4	143	22		3억	154	9	44	286
	4억	102	10	165	0		4억	158	7	132	198
	5억	122	21	165	0		5억	154	10	198	132
16	1억	66	3	0	176	31	1억	86	0	0	341
	2억	82	3	66	110		2억	134	6	0	341
	3억	84	5	132	44		3억	142	9	44	297
	4억	104	8	176	0		4억	158	7	132	209
	5억	122	19	176	0		5억	154	10	198	143
17	1억	80	1	0	187	32	1억	86	0	0	341
	2억	92	5	44	143		2억	134	6	0	352
	3억	84	5	132	55		3억	160	10	33	319
	4억	94	7	187	0		4억	158	7	132	220
	5억	122	17	187	0		5억	166	10	187	165
18	1억	80	1	0	198	33	1억	86	0	0	363
	2억	92	5	44	154		2억	134	6	0	363
	3억	90	6	121	77		3억	172	10	22	341
	4억	92	6	198	0		4억	170	7	121	242
	5억	122	15	198	0		5억	166	10	187	176
19	1억	80	1	0	209	34	1억	86	0	0	341
	2억	98	6	33	176		2억	134	6	0	374
	3억	96	5	121	88		3억	172	10	22	352
	4억	98	5	198	11		4억	174	10	99	275
	5억	122	13	209	0		5억	166	10	187	187
20	1억	80	1	0	220	35	1억	86	0	0	341
	2억	98	6	33	187		2억	134	6	0	385
	3억	102	6	110	110		3억	178	11	11	374
	4억	104	6	187	33		4억	180	11	88	297
	5억	130	10	220	0		5억	166	10	187	198
21	1억	80	1	0	231	36	1억	86	0	0	341
	2억	110	6	22	209		2억	134	6	0	396
	3억	102	6	110	121		3억	178	11	11	385
	4억	104	6	187	44		4억	180	11	88	308
	5억	122	9	231	0		5억	166	10	187	209
22	1억	86	0	0	242	37	1억	86	0	0	341
	2억	116	7	11	231		2억	134	6	0	407
	3억	102	6	110	132		3억	190	11	0	407
	4억	110	7	176	66		4억	192	11	77	330
	5억	118	8	242	0		5억	188	12	154	286
23	1억	86	0	0	253	38	1억	86	0	0	341
	2억	116	7	11	242		2억	134	6	0	418
	3억	120	5	99	154		3억	190	11	0	418
	4억	122	7	165	88		4억	192	11	77	341
	5억	118	6	253	0		5억	188	12	154	264
24	1억	86	0	0	264	39	1억	86	0	0	341
	2억	122	8	0	264		2억	134	6	0	429
	3억	120	5	99	165		3억	190	11	0	429
	4억	122	7	165	99		4억	198	12	66	363
	5억	118	8	242	22		5억	200	12	143	275
25	1억	86	0	0	275	40	1억	86	0	0	341
	2억	128	7	0	275		2억	134	6	0	440
	3억	124	8	77	198		3억	190	11	0	440
	4억	128	8	154	121		4억	198	12	66	374
	5억	130	8	231	44		5억	200	12	143	297

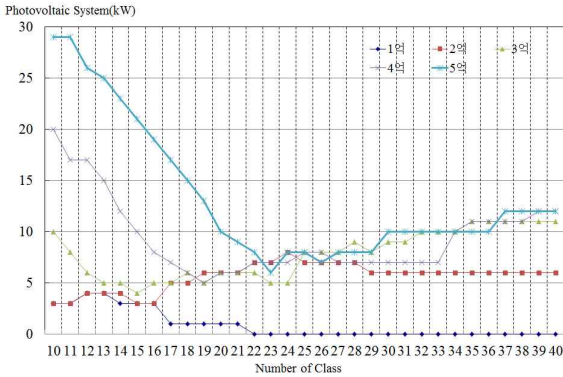


그림 12. 학급수별, 투자비별 최적 태양광시스템용량

6. 결론

본 연구에서는 학교건물의 특성을 살려 에너지비용과 운영비용을 최소화할 수 있는 효율적인 설계방안을 마련하기 위해 신·재생에너지기반 복합시스템을 개념적으로 정립하고 학교건물의 냉난방 및 급탕패턴을 선행 분석하여 동일한 초기투자비 내에서 에너지비용을 최소한으로 부담할 수 있고 학교 건물에 적용이 가능한 최적의 신·재생에너지 적용프로그램을 Matlab을 이용하여 개발하였으며 다양한 조건들에 대한 분석을 수행하였다.

본 논문의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

2㎡의 유효집열 면적을 가진 태양열급탕시스템이 FRUL가 0.70W/㎡·℃이고 FR(τa)가 0.58일 때, 집열량은 1,278 kWh로 약 52.8%의 집열 효율을 나타냈다. 단결정 실리콘 재질의 13%의 효율을 지닌 1kWp 규모의 태양광발전시스템의 발전량은 1,136.42kWh로 약 10.8%의 발전효율을 나타냈다. 58kW급 지열히트펌프의 냉방전력소비량은 연간 2,753.34kWh이고 난방전력소비량은 연간 389.70kWh로 나타났다.

학급규모와 투자비에 따라 10~40 학급까지 2㎡의 태양열급탕시스템, 1kWp의 태양광발전시스템, 11kW의 지열히트펌프시스템을 모듈로 하여 최적용량을 산정한 결과, 태양열 집열기는 투자비규모보다는 급탕부하에 적절히 대응할 수 있도록 설계해야 하며 소규모학교에서는 1억원 이하의 투자 시 단일 태양열급탕시스템을 설치하는 것이 적합한 것으로 나타났다. 지열히트펌프시스템은 투자비와 학급수에 따라 증가하다가 제한된 히트펌프용량으로 인해 일정투자비 이상이 되면 다시 감소하는 경향을 보였다.

본 논문을 통해 개발된 간이프로그램은 투자자나 설계자가 학교 건물에 대한 최적의 신·재생에너지기반 복합시스템 최적용량을 결정하기 위한 도구로 활용할 수 있을 것이며, 실제 적용이 되는 모델의 데이터를 직접 입력하여 각 학교의 특성에 맞는 신·재생에너지기반 복합시스템 설계대안 수립을 위한 평가 자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한 본 연구에서는 태양열, 태양광, 지열히트펌프시스템을 신·재생에너지기반 복합시스템 모듈로 제안한 바, 추후에는 프로그램의 민감도분연구와 그 외의 여러 신·재생에너지를 최적화할 수 있는 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김병수, 그린스쿨교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방에너지 성능평가분석, 대한건축학회 논문집 제 26권 제 2호, p.p. 267~274, 2010. 02
2. 남현진 외, 학교 건물의 신·재생에너지 적용을 위한 수요/공급 분석 및 평가에 관한 연구, 설비공학논문집 제 22권 제 4호, p.p. 197~204, 2010
3. 김주영 외, 건축물에 적용된 태양광발전시스템의 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학 2009 학교회계세입세출예산, 교육통계연보, 2010
4. F. Calise, Thermoeconomic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates, Energy and Buildings 42, 2010, p.p. 992~1003
5. 한국에너지기술연구원, 에너지기술DB 구축사업, 에너지관리공단, 2005. 11
6. 서승직, 친환경을 고려한 건축설비계획, 2004
7. Duffie J.A. and Beckman W.A., Solar Engineering of Thermal Processes-Second Edition, Wiley-Interscience, New York, 1991
8. 한국에너지기술연구원, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008. 06
9. 조덕기 외, 국내 태양열시스템 설치를 위한 시스템 최적설치 각 산출을 통한 최대 경사면 일사량 분석, 한국태양에너지학회논문집, 29권, 2호, 2009
10. 이재현 외, 국내의 부하해석 프로그램의 해석결과 비교, 공기조화냉동공학회 공조부문강연회, p.p. 51~63, 1999. 09
11. 현석균 외, 건물의 열에너지 해석에 대한 실증실험, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, p.p. 975~980, 2001
12. 신우철 외, 설비형 태양열시스템 설계분석 프로그램 개발, 한국태양에너지학회 논문집, 23권, 4호, p.p. 11~20, 2003
13. 한국에너지기술연구원, 학교 건물의 환경개선을 위한 냉난방 시스템 연구, 교육부, 1998. 09
14. 한국에너지기술연구원, 학교건물의 에너지절약 신기술 세미나, 교육부, 2000. 12

투고(접수)일자: 2012년 8월 21일  
 수정일자: (1차) 2013년 3월 26일  
 (2차) 2013년 4월 4일  
 게재 확정일자: 2013년 4월 10일