

第 116 回 碩士學位論文  
指導教授 李 彦 求

초등학교건물의 신재생에너지 시스템  
복합적응에 관한 연구

A Study on the Application of  
Integrated Renewable Energy Systems  
to the Elementary School

中央大學校 大學院  
建築學科 建築環境 및 設備專攻  
金 旻 茲  
2012年 2月

초등학교건물의 신재생에너지 시스템  
복합적용에 관한 연구

A Study on the Application of  
Integrated Renewable Energy Systems  
to the Elementary School

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2012年 2月

中央大學校 大學院  
建築學科 建築環境 및 設備專攻  
金 侑 滋

金侑滋의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長 \_\_\_\_\_ (印)

審査委員 \_\_\_\_\_ (印)

審査委員 \_\_\_\_\_ (印)

中央大學校 大學院  
2012 年 2月

# 목 차

제1장. 서 론 .....	1
1.1. 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2. 연구의 범위 및 방법 .....	3
제2장. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용을 위한 이론 고찰 .....	6
2.1. 신재생에너지 시스템 종류 및 특성 .....	6
2.1.1. 태양광발전 시스템 .....	7
2.1.2. 태양열 시스템 .....	13
2.1.3. 풍력 시스템 .....	19
2.1.4. 지열 시스템 .....	24
2.2. 건축물의 신재생에너지 시스템 복합적용의 의미 .....	30
2.2.1. 신재생에너지 시스템 복합적용의 필요성 .....	30
2.2.2. 건축물의 신재생에너지 시스템 복합적용 개념 .....	31
2.3. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용 가능성 .....	32
2.3.1. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용성 .....	32
2.3.2. 학교 시설의 신재생에너지 시스템 연구 사례 .....	34
2.3.3. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용 필요성 .....	35
2.4. 소결 .....	37
제3장. 초등학교 건물의 에너지 소비특성 .....	39
3.1. 대상 초등학교 건물 개요 .....	39
3.2. 에너지 시뮬레이션 개요 .....	41
3.2.1. 시뮬레이션 도구 선정 .....	41
3.2.2. 시뮬레이션 입력 데이터 .....	42
3.3. 대상 초등학교의 에너지 시뮬레이션 결과 .....	51
3.3.1. 냉난방에너지 소비량 .....	51
3.3.2. 조명, 기기에너지 소비량 .....	53

3.3.3. 급탕에너지 소비량 .....	54
3.3.4. 대상 건물 에너지 소비 특성 .....	55
3.4. 소결 .....	57
<b>제4장. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용 .....</b>	<b>59</b>
4.1. 초등학교 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템 .....	59
4.2. 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 설치 용량 .....	62
4.2.1. 태양광 발전 시스템 .....	63
4.2.2. 태양열 급탕 시스템 .....	64
4.2.3. 지열 냉난방 시스템 .....	65
4.3. 신재생에너지 시스템 에너지 성능 .....	67
4.3.1. 태양광 발전 시스템 .....	67
4.3.2. 태양열 급탕 시스템 .....	69
4.3.3. 지열 냉난방 시스템 .....	72
4.3.4. 신재생에너지 시스템 에너지 성능 비교 분석 .....	73
4.4. 신재생에너지 시스템 복합 적용 최적 대안 제시 .....	75
4.5. 소결 .....	79
<b>제5장. 결론 .....</b>	<b>81</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>84</b>
<b>국 문 초 록 .....</b>	<b>87</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>90</b>

## <표 차례>

[표 2.1] 신·재생에너지 종류 .....	6
[표 2.2] 태양열 집열기 분류 .....	15
[표 2.3]. 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류 .....	21
[표 2.4] 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템 .....	36
[표 3.1] 대상 초등학교 개요 .....	39
[표 3.2] 제7차 개정 교육과정의 국민공통 기본 교육과정의 시간 배당 기준 .....	42
[표 3.3] 대상 초등학교 수업 일수 .....	43
[표 3.4] 대상 초등학교 수업 시정표 .....	43
[표 3.5] 대상 초등학교 각 부위별 열관류율 .....	44
[표 3.6] 지역별 건축물 부위의 열관류율 .....	45
[표 3.7] 성인 남성의 평균 대사량 .....	47
[표 3.8] 각 실의 재실밀도 .....	47
[표 3.9] 각 실의 기기밀도 .....	50
[표 3.10] 냉방에너지 소비량 .....	52
[표 3.11] 난방에너지 소비량 .....	52
[표 3.12] 조명에너지 소비량 .....	53
[표 3.13] 기계에너지 소비량 .....	54
[표 3.14] 급탕에너지 소비량 .....	55
[표 3.15] 연간 에너지 소비량 .....	55
[표 3.16] 대상 초등학교 에너지 소비량[kWh] .....	58
[표 4.1] 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템 .....	59
[표 4.2] 태양광 발전 시스템 설치 사양 .....	63
[표 4.3] 태양열 급탕 시스템 설치 사양 .....	65
[표 4.4] 지열 냉난방 시스템 설치 사양 .....	66
[표 4.5] 연간 발전량 .....	67
[표 4.6] 태양광 발전 시스템 용량별 연간 발전량 .....	68
[표 4.7] 태양광 발전 시스템 전력 분담률 .....	69
[표 4.8] 태양열 급탕 시스템의 설치 용량별 급탕에너지 분담률 .....	70
[표 4.9] 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 급탕에너지 소비량 .....	71
[표 4.10] 지열 냉난방 시스템의 냉난방 에너지 분담률 .....	72
[표 4.11] 신재생에너지 시스템의 건물 총 에너지 소비량 대비 분담률 .....	74
[표 4.12] 신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 평가 .....	76
[표 4.13] 신재생에너지 시스템 복합적용 초기투자비 .....	77

## <그림 차례>

(그림 1.1) 연구 흐름도 .....	5
(그림 2.1) 태양전지의 원리 .....	8
(그림 2.2) 태양광발전 시스템 구성 .....	9
(그림 2.3) 태양전지의 분류 .....	10
(그림 2.4) 태양광 발전 계통연계형 시스템 .....	11
(그림 2.5) 태양광 발전 독립형 시스템 .....	11
(그림 2.6) 태양광 발전 하이브리드형 시스템 .....	12
(그림 2.7) PV 어레이 최소 이격거리 .....	13
(그림 2.8) 태양열 시스템 구성 .....	14
(그림 2.9) 대용량의 계간 축열조 .....	16
(그림 2.11) 태양열 급탕 시스템 .....	17
(그림 2.12) 태양열 난방 시스템 .....	18
(그림 2.13) 풍력발전기의 구조 .....	20
(그림 2.14) 수직축 풍력발전기(왼쪽부터 자이로밀, 사보니우스, 다리우스) .....	21
(그림 2.15) 수평축 풍력발전기와 수풍방식 .....	22
(그림 2.16) 풍력발전기의 풍속 증가에 따른 출력곡선 .....	23
(그림 2.17) 지표면 거칠기에 따른 풍속의 연직구조 .....	24
(그림 2.18) 지열 열펌프 시스템 냉방 사이클 .....	25
(그림 2.19) 지열 열펌프 시스템 난방 사이클 .....	26
(그림 2.20) 수직형 시스템 .....	27
(그림 2.21) 수평형 시스템 .....	27
(그림 2.22) 지하수열원 열펌프 시스템 .....	28
(그림 2.23) 지표수열원 열펌프 시스템 .....	28
(그림 3.1) 대상 초등학교 배치도 .....	40
(그림 3.2) 기준층(2층) 평면도 .....	40
(그림 3.3) 대상 초등학교 입면도 .....	40
(그림 3.4) DesignBuilder 3.0 .....	41
(그림 3.5) EnergyPlus 6.0 .....	41
(그림 3.6) 주중 재실 스케줄 .....	48
(그림 3.7) 토요일 재실스케줄 .....	48
(그림 3.8) 주중 조명 스케줄 .....	49
(그림 3.9) 토요일 조명 스케줄 .....	49

(그림 3.10) 주중 기기 스케줄 .....	50
(그림 3.11) 토요일 기기 스케줄 .....	50
(그림 3.12) 냉방에너지 소비량 .....	52
(그림 3.13) 난방에너지 소비량 .....	52
(그림 3.14) 조명에너지 소비량 .....	53
(그림 3.15) 기기에너지 소비량 .....	54
(그림 3.16) 급탕에너지 소비량 .....	55
(그림 3.17) 에너지 소비 구성 비율 .....	55
(그림 3.18) 전력 소비 구성 비율 .....	56
(그림 4.1) 서울지역 연간 수평면 일사량 .....	60
(그림 4.2) 하지(6.21)의 수평면 일사량 .....	60
(그림 4.3) 동지(12.22)의 수평면 일사량 .....	60
(그림 4.4) 연중 외기온도 및 지중온도 변화 .....	61
(그림 4.5) 서울지역의 연간 일평균 풍속 .....	62
(그림 4.6) 태양광 발전 시스템 배치 .....	64
(그림 4.7) 지중열교환기 배치 .....	66
(그림 4.8) PV 1매 연간 발전량 .....	67
(그림 4.9) 연간 수평면 일사량 .....	68
(그림 4.10) 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 분담률 .....	70
(그림 4.11) 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 급탕에너지 소비량 .....	71
(그림 4.12) 지열 냉난방 시스템 에너지 소비 절감량 .....	73
(그림 4.13) 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템 분담률 비교 .....	75
(그림 4.14) 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용안 .....	78

# 제1장. 서 론

## 1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 환경파괴의 문제는 가장 큰 이슈이다. 그 중 기후변화의 문제는 오늘날 우리 사회가 직면한 가장 큰 문제 중 하나이다. 산업혁명 이후 인류의 화석연료 사용증가는 대기 중의 온실가스 농도를 증가 시켰으며 지구의 평균기온의 상승을 초래하였다. 온실가스의 배출량은 1970년 대비 70%가 증가하였고 이산화탄소는 약 80%가 증가하였다. 이로 인해 지구의 평균 기온은 지난 100년간 0.74℃ 상승하였고 평균 해수면은 매년 1.8mm씩 상승하였다. 이러한 상승폭은 계속 증가 할 전망이며 현재와 같이 화석연료를 지속적으로 사용할 경우 지구의 평균기온이 2100년에 이르러 1990년 대비 6.4℃ 상승하며 평균 해수면은 0.59m 상승할 것으로 예상하고 있다.<sup>1)</sup>

이러한 환경문제가 인류의 지속가능성을 위협할 수 있다는 사실이 인식되면서 유엔환경개발위원회는 1992년 리우회의를 개최하였고 이 회의에서는 “지속가능한 개발”을 의제로 채택하였다. 그 실천 방안으로 1994년 3월 세계 기후변화협약이 발효되었으며, 구체적인 온실가스 저감을 목표로 ‘교토의정서’가 1997년 12월 채택된 후 2005년 2월 러시아 의회의 인준으로 정식 발효되었다. 이에 따라 온실가스 및 환경오염 문제에 대한 국제기구 및 선진국의 규제가 강화되고 있으며, 우리나라도 온실가스 배출을 2020년까지 BTU 기준 30%(2005년 대비 4%) 감축을 확정하고 2010년 1월에 유엔기후변화협약에 감축계획보고서를 제출하였다.

우리나라는 건축 분야에서 사용되는 에너지량이 국가 전체 에너지 소비량의 25%를 차지하고 있다.<sup>2)</sup> 이 때문에 건축분야에서의 에너지 소비량을 줄이

---

1) IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.11

2) 연별 통계, 에너지경제연구원 홈페이지 (<http://www.keei.re.kr>)

는 노력이 절실히 요구된다. 현재 건축분야에서의 에너지 소비를 줄이기 위한 많은 연구와 노력이 이루어지고 있으며 그와 더불어 신재생에너지에 관한 연구 또한 활발히 이루어지고 있다. 신재생에너지는 무공해, 무한정의 다양한 자연에너지의 특성과 이용기술을 활용하여 화석연료를 대체할 수 있는 재생 가능한 에너지이다. 또한 기존 에너지 생산시스템보다 이산화탄소의 배출이 적은 청정에너지로서, 에너지의 자립도를 높이고 기후변화에 대응하기 위한 대안으로 평가받고 있다.

현재 우리나라에서는 신재생에너지 시스템 보급을 확대하기 위한 지원과 규제가 시행되고 있다. 그 중 하나로 공공기관 에너지합리화 추진 지침에서 2008년 6월부터 연면적 3000㎡이상의 건축물에 대하여 신재생에너지 이용을 의무화하고 있다. 2009년부터는 학교시설을 포함한 설치의무화 대상건축물을 “신축”에서 “증·개축”까지 확대한 내용의 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」이 시행되고 있다. 최근 2011년 4월부터는 신재생에너지 설비의 이용효율이 높고 투자효과가 좋은 설비 위주로 보급하여 보급의 실효성을 증대시키고, 친환경 에너지절약형 건물 설계를 유인하기 위하여 신재생에너지 이용 기준이 총 공사비 5%에서 예상에너지사용량의 10%이상을 생산할 수 있는 규모로 변경되었다. 이용의무비율도 연차적으로 상향조정되어 2020년까지 총 에너지사용량의 20%를 신재생에너지로 사용하도록 강화 할 예정이다.

신재생에너지 시스템은 각 시스템마다 에너지 생산 종류, 생산 방식, 생산 패턴이 다르다. 이 때문에 건축물에 신재생에너지 시스템을 효과적으로 적용하기 위해서는 건축물의 에너지 소비 특징과 신재생에너지 시스템의 특징을 정확히 파악하는 것이 중요하다. 신재생에너지 이용 의무화 기준도 공사비에서 예상에너지 사용량으로 변경됨으로써 단순 신재생에너지 시스템을 적용하기 보다는 건축물의 에너지 소비 특성을 정확히 파악하고 그에 적합한 신재생에너지 시스템을 적용하여야한다. 또한 신재생에너지 시스템간의 에너지 생산특성을 고려하여 두 가지 이상의 신재생에너지 시스템을 복합적용 할 경

우 시스템의 효율성을 향상시킬 수 있다.

신재생에너지 설치의무화 대상건축물인 초등학교 시설은 신재생에너지 시스템을 적용하기 위한 설치공간의 확보가 용이하다. 특히 냉난방에너지 소비 절감에 효과적이라고 알려진 지열 냉난방 시스템 설치를 위한 공간은 학교의 운동장을 활용 할 수 있어 다른 용도의 건물보다 유리하다. 이 밖에도 학생들의 친환경적 행동에 대한 교육적인 효과도 기대 할 수 있다.

본 연구는 초등학교 시설의 신재생에너지 시스템 적용에 있어서 적합한 신재생에너지 시스템을 선정하고 에너지 소비 절감을 효과적으로 이룰 수 있는 신재생에너지 시스템 복합적용에 대한 대안을 도출하고자 한다. 이를 위해, 초등학교 시설의 에너지 소비 특성을 파악한 후 에너지 소비 절감을 위한 신재생에너지 시스템을 선정하여 각 시스템의 성능을 분석한다. 이를 토대로 신재생에너지 시스템을 복합 적용 할 경우 에너지 소비 절감에 가장 효과적인 방안을 제시하고자 한다.

## 1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 초등학교 시설의 신재생에너지 시스템 복합 적용안을 제시하고자 초등학교 시설의 에너지 소비 특성을 파악하고 적용가능한 신재생에너지 시스템을 선정하여 각 시스템의 에너지 분담률을 평가하였다. 또한 신재생에너지 시스템 간 복합적용 대안 선정 후 각 대안별 에너지 분담률 분석을 통해 최종적으로 가장 효과적인 신재생에너지 시스템 복합적용 방안을 제시하고자 한다.

본 연구의 내용 및 방법을 요약하면 다음과 같다.

### (1) 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용을 위한 이론 고찰

신재생에너지 시스템을 건축물에 적용하기 위한 기초 조사로 신재생에너지

시스템의 종류와 각 시스템의 특징을 조사한다. 또한 신재생에너지 시스템 복합적용의 필요성과 개념을 정립한 후, 초등학교 건물에 신재생에너지 시스템 적용 가능성과 효율성을 고찰한다.

#### (2) 초등학교 건물의 에너지 소비 특성

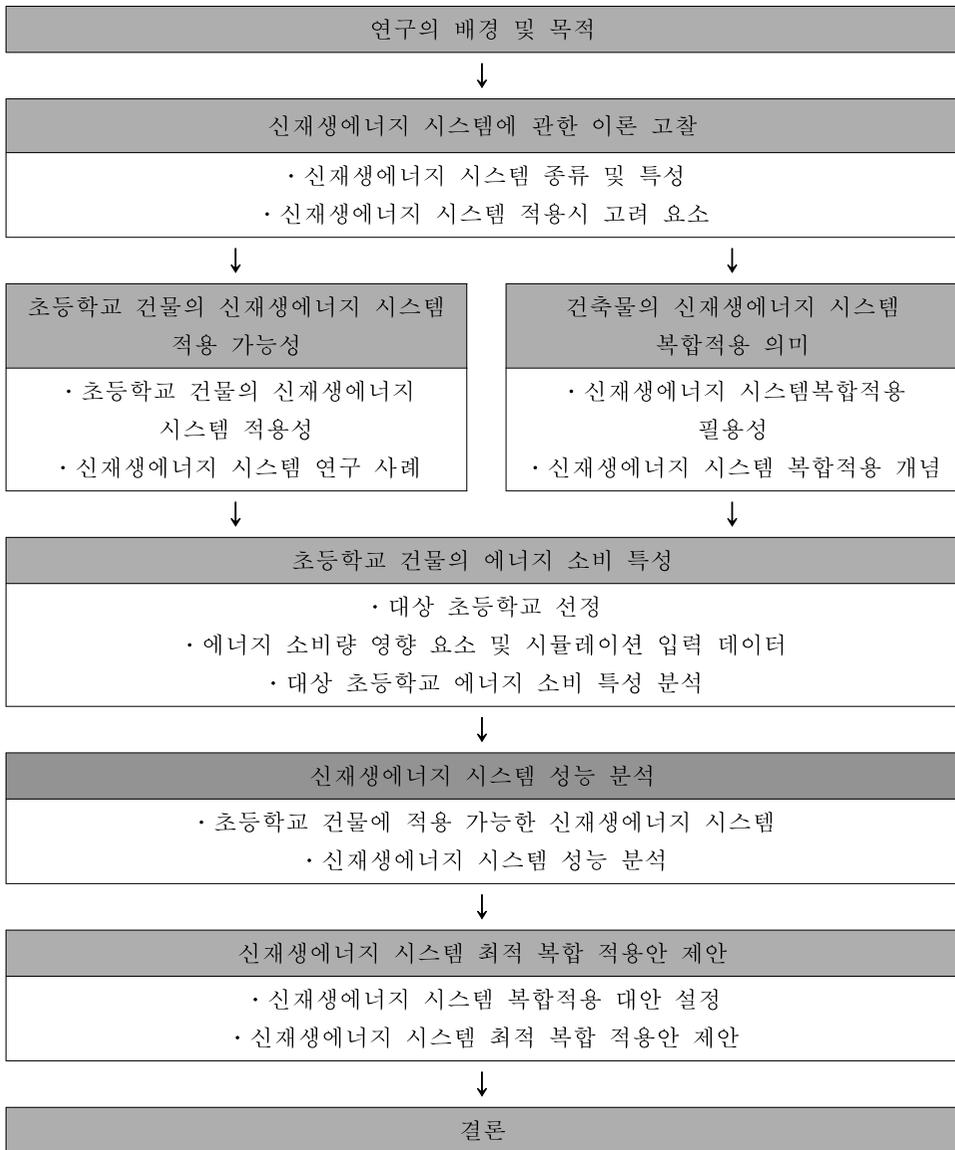
초등학교 건물을 대표할 수 있는 학교를 선정된 후, 건물의 에너지 소비량에 영향을 미치는 영향요소를 결정하고 시뮬레이션 입력 데이터를 조사한다. 이를 통하여 에너지 시뮬레이션을 수행하고 대상 초등학교의 냉난방에너지, 조명·기기에너지, 급탕에너지 소비량을 예측하고 건물의 에너지 소비 특성을 분석한다.

#### (3) 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 에너지 분담률 분석

초등학교 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템을 선정된 후, 대상 초등학교에 적용 가능한 신재생에너지 시스템의 설치 용량을 결정하고 각 신재생에너지 시스템의 에너지 분담률을 분석한다.

#### (4) 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 복합 적용안 제시

대상 초등학교에 적용가능한 각 신재생에너지 시스템의 최대, 최소 용량 범위내에서 신재생에너지 시스템 복합적용 대안을 설정한 후, 각 대안의 에너지 분담률을 분석하여 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 최적 복합 적용안을 제시한다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

## 제2장. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용을 위한 이론 고찰

### 2.1. 신재생에너지 시스템 종류 및 특성

신재생에너지란 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 생물유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지이며 지속 가능한 에너지 공급체계를 위한 미래에너지를 말한다. 국내에서는 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 제2조의 규정에 의거하여 다음 [표 2.1]과 같이 11개 분야로 구분하고 있다.

[표 2.1] 신·재생에너지 종류

신 · 재 생 에 너 지	태양광	태양광발전시스템(태양전지, 모듈, 축전지 및 전력변환장치로 구성)을 이용하여 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 기술
	태양열	태양열이용시스템(집열부, 축열부 및 이용부로 구성)을 이용하여 태양광선의 파동성질과 광열학적성질을 이용한 분야로 태양열 흡수·저장·열변환을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술
	바이오	태양광을 이용하여 광합성되는 유기물(주로 식물체) 및 동 유기물을 소비하여 생성되는 모든 생물 유기체(바이오매스)의 에너지
	풍력	풍력발전시스템(운동량변환장치, 동력전달장치, 동력변환장치 및 제어장치로 구성)을 이용하여 바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생하는 유도전기를 전력계통이나 수요자에게 공급하는 기술
	수력	개천, 강이나 호수 등의 물의 흐름으로 얻은 운동에너지를 전기 에너지로 변환하여 전기를 발생시키는 시설용량 10,000kw이하의 소규모 수력발전
	해양	해수면의 상승하강운동을 이용한 조력발전과 해안으로 입사하는 파랑에너지를 회전력으로 변환하는 파력발전, 해저층과 해수표면층의 온도 차를 이용, 열에너지를 기계적 에너지로 변환 발전하는 온도차 발전
	폐기물	사업장 또는 가정에서 발생하는 가연성 폐기물 중 에너지 함량이 높은 폐기물을 열분해에 의한 오일화 기술, 성형고체연료의 제조기술, 가스화에 의한 가연성 가스 제조기술 및 소각에 의한 열회수기술 등의 가공·처리 방법을 통해 연료를 생산

신 에 너 지	지열	지표면으로 부터 지하로 수m(미터) 에서 수km(킬로미터)깊이에 존재하는 뜨거운 물(온천)과 돌(마그마)을 포함하여 땅이 가지고 있는 에너지를 이용하는 기술
	연료 전지	수소, 메탄 및 메탄올 등의 연료를 산화(酸化)시켜서 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술
	수소	수소를 기체 상태에서 연소시 발생하는 폭발력을 이용하여 기계적 운동에너지로 변환하여 활용하거나 수소를 다시 분해하여 에너지원으로 활용하는 기술
	석탄액 화가스 화 및 중질잔 사유가 스화	석탄, 중질잔사유 등의 저급원료를 고온, 고압하에서 불완전연소 및 가스화 반응시켜 일산화탄소와 수소가 주성분인 가스를 제조하여 정제한 후 가스터빈 및 증기터빈을 구동하여 전기를 생산하는 신발전기술

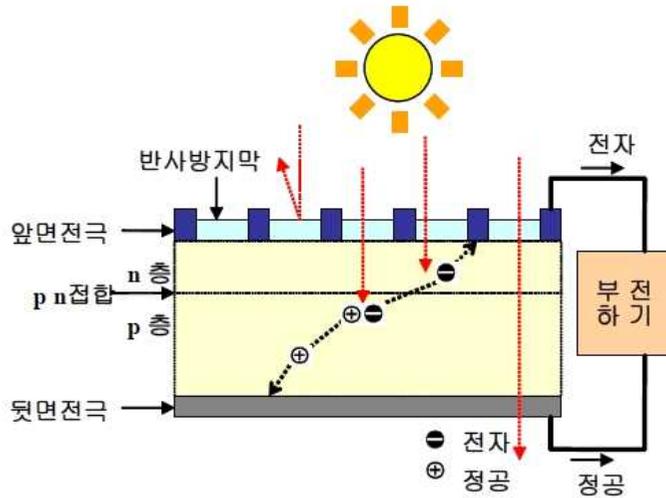
본 절에서는 신재생에너지 중에서 건축물에 가장 많이 적용되고 있는 재생 에너지인 태양열, 태양광, 지열, 풍력 에너지 시스템에 관하여 이론 고찰을 수행하였다.

### 2.1.1. 태양광발전 시스템

#### (1) 태양광발전 시스템 개요

태양광발전은 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생하는 태양전지를 이용한 발전방식으로 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 시스템이다. 태양전지는 실리콘으로 대표되는 반도체이며 반도체기술의 발달과 반도체 특성에 의해 자연스럽게 개발되었다. 태양전지는 전기적 성질이 다른 N(negative)형의 반도체와 P(positive)형의 반도체를 접합시킨 구조를 하고 있으며 2개의 반도체 경계 부분을 PN접합(PN-junction)이라한다. 이러한 태양전지에 태양빛이 닿으면 태양빛은 태양전지속으로 흡수되며, 흡수된 태양 빛이 가지고 있는 에너지에 의해 반도체내에서 정공(正孔:hole)(+)과 전자(電子:electron)(-)의 전기를 갖는 입자(정공, 전자)가 발생하여 각각 자유롭게 태양전지 속을 움직이지만, 전자(-)는 N형 반도체쪽으로, 정공(+)은 P형 반도체

쪽으로 모이게 되어 전위가 발생하게 되며 이 때문에 앞면과 뒷면에 붙여 만든 전극에 전구나 모터와 같은 부하를 연결하게 되면 전류가 흐르게 되는 데 이것이 태양전지의 PN접합에 의한 태양광발전의 원리이다.



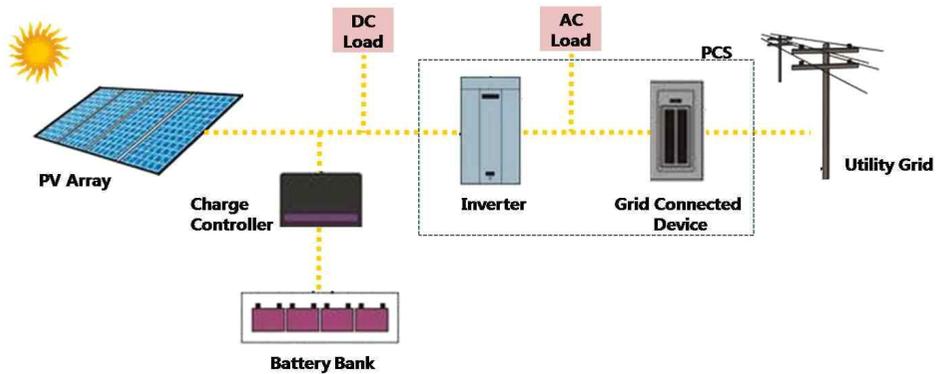
(그림 2.1) 태양전지의 원리

## (2) 태양광발전 시스템 구성

태양광발전 시스템은 빛을 받아 전기를 생산하는 태양전지와 생산된 전기를 저장하는 축전장치(Storage Battery), 전기를 직류에서 교류로 변환하고 이를 전력계통에 연결시키는 기능을 담당하는 전력변환장치(Power Conditioning System)로 구성된다.<sup>3)</sup>

3)

신재생에너지 센터, 신재생에너지백서 2008

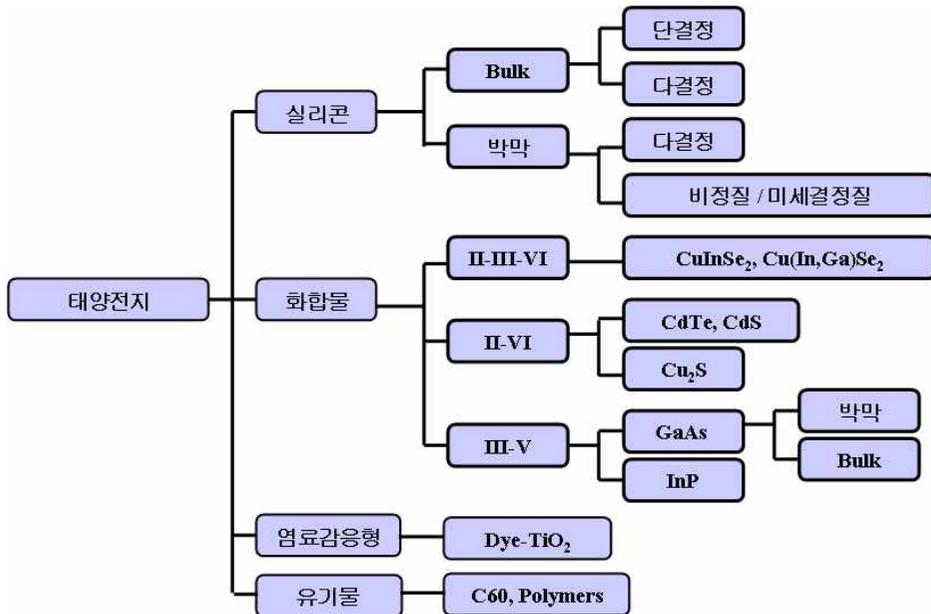


(그림 2.2) 태양광발전 시스템 구성

태양광발전시스템의 구성요소 중 핵심부품은 태양전지이다. 앞서도 언급하였지만, 태양전지는 기본적으로 반도체소자이며 빛을 전기로 변환하는 기능을 수행한다. 태양전지 어레이는 태양전지의 최소단위를 셀이라고 하는데 보통 셀 1장에서 나오는 전압이 약 0.5~0.6V로 매우 작기 때문에 여러 장을 직렬로 연결하여 수V에서 수십V이상의 전압을 얻도록 패널 형태로 제작한 것을 모듈이라고 한다. 이러한 모듈을 여러 장으로 직병렬 연결함으로써 부하의 용량에 적합하게 연결하여 설치한 것을 어레이라고 하며 회전형 발전방식의 발전기에 해당한다. 현재 실용화되어 지상설치의 전원용으로 사용되고 있는 태양전지는 대부분이 결정질 실리콘(Si) 태양전지이다. 이러한 결정질 실리콘 태양전지는 전 세계 태양전지시장의 85%이상을 차지하고 있으며 초저가 초고효율화를 달성하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 태양광발전시스템의 급격한 보급 확산으로 실리콘 결정질 태양전지의 품귀현상으로 태양전지 가격의 상승으로 저가형의 태양전지의 상용화 기술개발이 추진되어 실리콘박막태양전지와 화합물반도체 태양전지, 염료감응, 유기태양전지 등의 미래지향형 태양전지에 대한 상용화 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.<sup>4)</sup>

태양전지는 물성에 따라 다음 (그림 2.3)<sup>5)</sup>과 같이 분류된다.

4) 신·재생에너지 센터, 신·재생에너지백서 2010



(그림 2.3) 태양전지의 분류

### (3) 태양광발전 시스템 분류

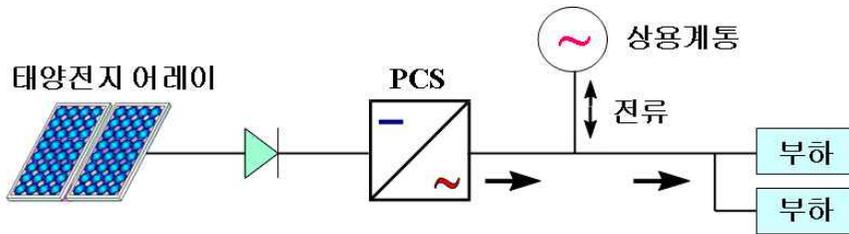
태양광발전 시스템은 태양빛이 공급되는 낮에만 발전할 수 있고 밤에는 발전할 수 없는 단점이 있어 시스템 구성이나 부하의 종류에 따라서 독립형, 계통연계형과 하이브리드 시스템으로 분류한다.<sup>6)</sup>

#### (가) 계통연계형 시스템 (grid-connected system)

주택용 및 공공 산업용 태양광발전의 가장 일반적인 형태이며 상용계통과 직접 연계되어 시스템에서 발전된 전력을 부하에 공급하고 야간 혹은 우천 시에는 부족한 전력을 상용계통으로부터 공급받는 시스템이다.

5) 산·재생에너지 센터, 신재생에너지백서 2010

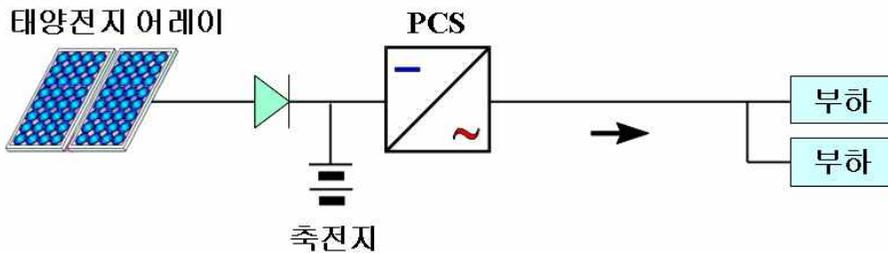
6) 산업자원부, 산·재생에너지 RD&D전략 2030[태양광], 2007



(그림 2.4) 태양광 발전 계통연계형 시스템

(나) 독립형 시스템 (off-grid, 또는 stand-alone system)

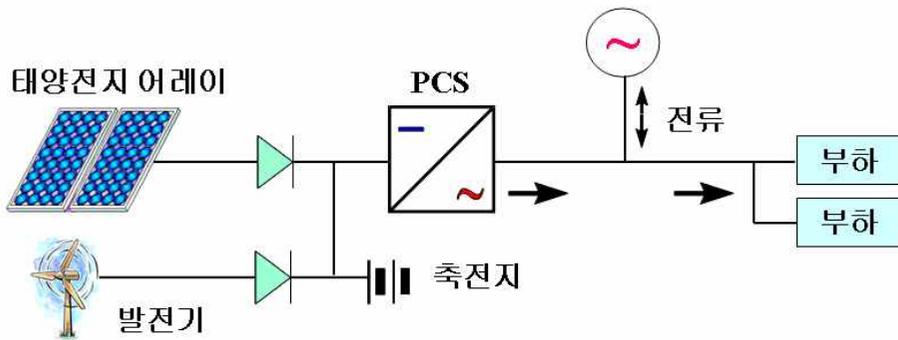
상용계통과 직접 연계되지 않고 태양광발전 시스템의 발전전력만으로 부하에 전력을 공급하는 시스템이다. 야간 혹은 우천 시에 태양광발전시스템의 발전을 기대할 수 없는 경우에 발전된 전력을 저장할 수 있는 충방전 장치 및 축전지 등의 축전장치를 접속하여 부족한 전력을 공급할 수 있는 시스템이다. 독립형 시스템은 소형가전, 오지, 도서지역의 전력공급용이나 통신, 양수펌프, 백신용의약품냉동보관, 안전표지, 제어 및 항해 보조도구 등 소규모 전력공급용으로 사용된다.



(그림 2.5) 태양광 발전 독립형 시스템

(다) 하이브리드형 시스템 (hybrid system)

하이브리드 시스템은 태양광발전 시스템에 풍력발전, 열병합발전, 디젤발전 등의 타에너지원의 발전시스템과 결합하여 전력저장, 부하 혹은 상용계통에 전력을 공급하는 된 시스템이다. 하이브리드 시스템은 시스템 구성 및 부하 종류에 따라 계통연계형 및 독립형 시스템에 모두 적용가능하다.



(그림 2.6) 태양광 발전 하이브리드형 시스템

#### (4) 시스템 적용시 고려사항

##### (가) 음영의 영향

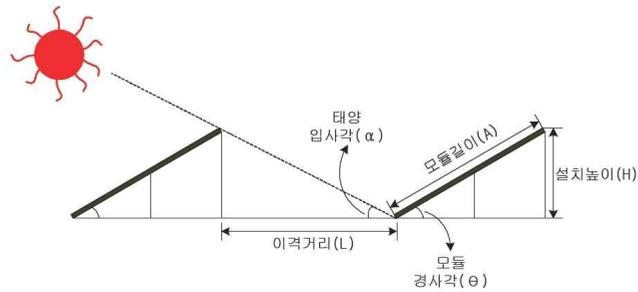
보통 PV 어레이 표면에 긴 일조시간을 확보하기 위해 남향으로 설치한다. PV어레이는 여러 장의 PV모듈을 직-병렬로 연결하여 만들어졌기 때문에 PV어레이 표면의 전부 또는 일부에 음영이 생길 경우, 전력 생산에 상당한 악영향을 미쳐 시스템의 효율을 크게 저하하며, 구조물로부터 태양에너지 시스템은 최소 구조물 높이의 2배되는 거리에 위치해야 음영발생으로부터 영향을 받지 않는다.<sup>7)</sup> 따라서 가장 일사조건이 좋은 시간대에서, PV 어레이의 설치장소 주변에 있는 나무나 건물 또는 PV 어레이 자체에 의해 어레이 표면에는 음영이 생겨지지 않도록 계획하여야 한다.

##### (나) 설치 각도 및 시스템 간 이격거리

태양광 시스템은 음영에 의한 영향 없는 이상적인 조건에서 발전량을 산출한다. 하지만 실재는 수목이나 빌딩 등에 의해 일사가 차단당하는 경우가 많다. 따라서 직사광선이 주변 조건에 의해 일부 차단되는 모듈의 실제 발전량

7) U.S. Department Of Energy, High-Performance Home Technologies: Solar Thermal & Photovoltaic Systems, 2007.06

은 이상조건에 비해 10~20%저하된다. 또한 수목이나 빌딩 등의 그늘 이외에도 태양전지 어레이간의 그늘에 대한 검토 역시 요구된다. 태양전지 어레이 간 거리가 가까우면 앞 열의 태양전지로 인해 뒤에 있는 태양전지에 음영이 발생할 수 있다. 따라서 PV 어레이 간격산정이 필수 요건이라 할 수 있다. 현재 태양광 발전 시스템 설계 시 가장 널리 사용되는 PV 어레이 간격 산정 방법은 다음과 같다.



(그림 2.7) PV 어레이 최소 이격거리

$$L = \frac{A}{\sin(\alpha - \theta)} \quad (lat = 23.5^\circ)$$

여기서,  $L$  : 이격거리[mm]

$H$  : 설치높이[mm]

$\alpha$  : 태양의 입사각

$A$  : 모듈길이[mm]

$\theta$  : 모듈경사각

$lat$ : 설치지역의 위도

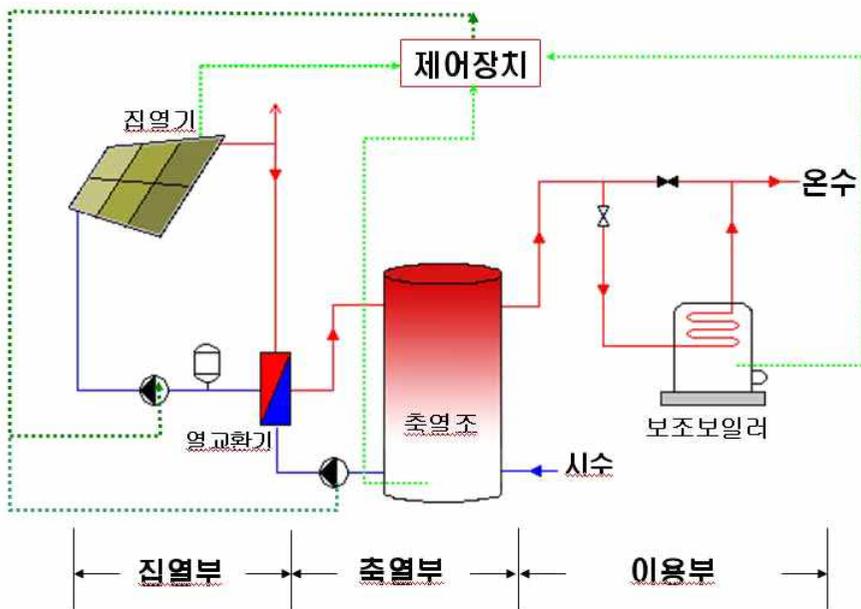
태양광 모듈은 태양광선과 직각일 때 가장 효율이 좋으며 지역의 위도에  $\pm 15^\circ$ 로 설치하는 것이 적합하다. 우리나라의 경우 설치각도  $30^\circ$ 가 적합하다.

## 2.1.2. 태양열 시스템

### (1) 태양열 시스템 개요

태양열시스템은 열매체의 구동장치(펌프나 팬) 유무에 따라서 설비형 태양열시스템(active solar system)과 자연형 태양열시스템(passive solar system)으로 구분된다. 자연형 태양열시스템은 태양열에 의해서 얻어지는 열을 이동시키는 펌프나 팬(fan)과 같은 구동장치가 없는 태양열 시스템을 의미하며, 설비형 태양열시스템은 태양열에 의해서 얻어진 열에너지를 펌프나 팬과 같은 이송장치에 의해서 축열부 또는 이용부로 이동되는 시스템을 말한다.

설비형 태양열시스템은 태양열 집열기를 이용하여 태양복사에너지를 열에너지로 변환하여 변환된 열에너지를 직접 이용하거나 별도의 축열장치에 저장하였다가 필요시 사용하는 시스템이다. 보통 태양열 집열기를 사용하는 태양열시스템이 여기에 포함되며, 최근에 온수급탕용이나 난방용으로 보급되는 태양열시스템이 바로 설비형 태양열시스템이다. 이 시스템은 일반적으로 (그림 2.8)에 있는 바와 같이 태양열을 집열하는 집열기, 집열된 열을 저장할 수 있는 축열조, 태양열이 없거나 부족할 경우 열을 공급하는 보조열원장치(보일러), 이용부와 이를 총괄적으로 제어하는 제어장치로 구성된다.



(그림 2.8) 태양열 시스템 구성

## (2) 태양열 시스템 구성

태양열에너지는 에너지밀도가 낮고(최대 1100W/m<sup>2</sup>이하) 계절별, 시간별 변화가 심하므로 시스템의 구성요소 중에서 집열부와 축열부의 계획이 중요하다.

이들 태양열 집열기는 집열온도에 따라서 [표 2.2]와 같이 분류된다. 집열온도는 집열기의 열손실율의 크고 작음과 집광장치의 유무에 따라서 결정된다. 즉 집열기의 열손실 계수가 작을수록, 그리고 집광비가 클수록 높은 온도를 얻을 수가 있는 집열기이다. 저온용 집열기는 태양광선을 집광하는 집광장치 없이 집열을 하는 집열기로, 평판형 집열기와 진공관형 집열기가 그 대표적인 집열기이다. 이 중에서 진공관형 집열기는 유리관 내부를 진공으로 만들어 열손실을 최소화 시킨 것으로 비 집광형 집열기 임에도 불구하고 비교적 높은 온도를 집열하는 데 효과적이다. 중온용 및 고온용 집열기는 집광장치가 있어서 일사광선을 고밀도로 집광해서 집열하는 집열기들이 여기에 포함되며, 대체적으로 집광비에 따라 집열온도가 달라진다.

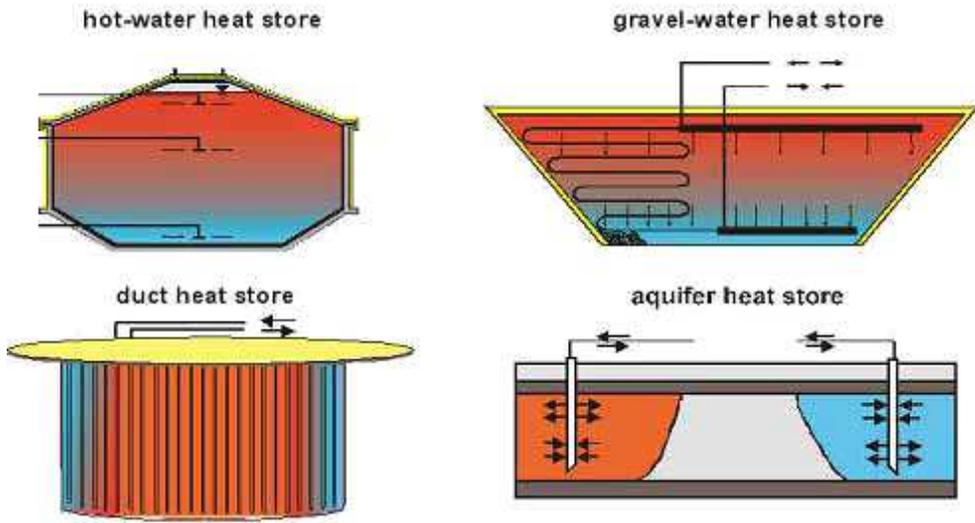
[표 2.2] 태양열 집열기 분류

구분	저온용	중·저온용	중온용	고온용
활용온도	90℃ 이하	150℃ 이하	300℃ 이하	300℃ 이상
집열기	평판형 집열기	진공관형 집열기 CPC형 집열기	PTC형 집열기	Dish형 집열기 Power Tower 태양로

태양열 축열부는 집열기에서 집열된 태양열을 필요한 시간에 필요한 양만큼 수요측에 공급하기 위한 것으로 태양열을 효과적으로 사용할 수 있도록 열에너지를 효율적으로 저장하였다가 공급하는 부분이다. 태양열 축열은 현열축열과 상변화 물질을 활용한 잠열축열에 의한 방법이 있으나, 현재는 저온용으로는 물의 온도를 올려서 축열하는 현열축열방법이 주로 사용된다. 태양열 집열 열교환기를 축열조 내부에 삽입 여부, 온수열교환기 또는 온수탱크를 난방 축열조 내부에 삽입 여부 등에 따라서 여러 가지 형태가 있을 수

있다. 모든 축열조는 일반적으로 온도가 높은 물이 축열조 상단부에, 온도가 낮은 물은 하단부에 위치하도록 하는 온도 성층화 장치가 있다. 주택용 태양열 축열조는 최근 펌프, 열교환기, 각종 악세서리 등이 축열조와 함께 콤팩트화 시켜서 설치가 간편하고 적은 공간에도 설치할 수 있도록 하는 시스템이 개발 되고 있다.

최근에는 하절기에 부하가 적거나 없기 때문에 대규모 태양열시스템이나 단지 차원의 태양열 시스템을 하나로 묶어 부하가 적거나 없는 하절기에 남은 태양열을 하나의 대규모 축열조에 저장하였다가 태양열이 부족할 경우에 사용하는 계간 축열시스템도 유럽에서는 적용되고 있다.



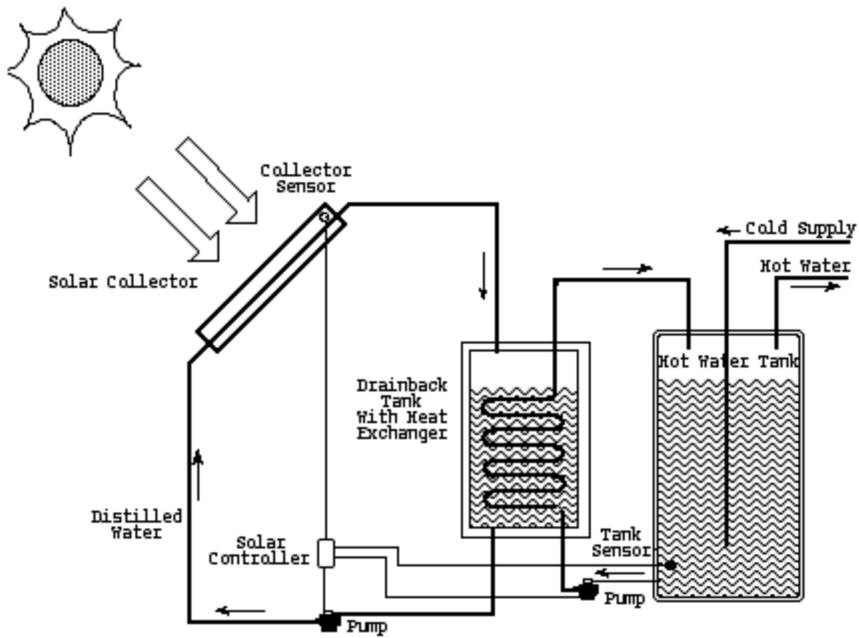
(그림 2.9) 대용량의 계간 축열조

### (3) 태양열 시스템 종류

#### (가) 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템은 태양열 집열판과 축열조로 구성되어 있으며, 축열조 내부에 열교환기와 보조열원인 심야전기 히터가 내장되어 있는 것도 있다.

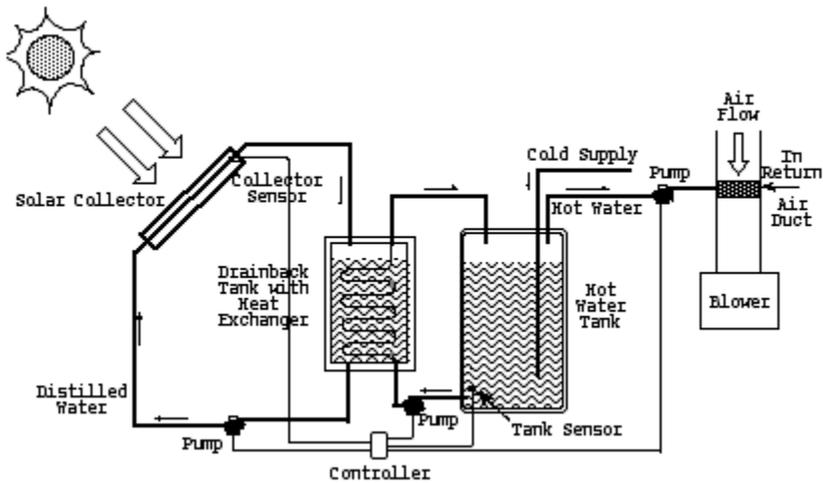
이 온수기는 집열판에서 가열된 집열매체가 펌프 없이 축열조와 자연순환에 의해서 축열조의 물을 가열시킨다. 즉 집열기에서 가열된 열매체(부동액)는 밀도가 낮아져 상단부인 축열조 내부(열교환기나 이중탱크 사이)로 올라가서 온수탱크 내부의 온수를 가열하고 다시 온도가 낮아져서 집열기 하단부로 들어가서 가열되면서 상단부로 올라가게 된다.



(그림 2.13) 태양열 급탕 시스템

(나) 태양열 난방 시스템

태양열 난방 시스템은 태양열 급탕 시스템과 집열부는 동일하다. 단지 축열조로부터 난방부로 공급되는 것과 보조 보일러와의 연결이 약간 다르다. 소형시스템의 경우에는 시스템 단순화를 위해서 집열열교환기를 내부에 위치시키기도 한다.



(그림 2.14) 태양열 난방 시스템

(다) 태양열 냉방 시스템

태양열 냉방은 난방 및 온수부하가 적은 하절기에 일사량이 많은 태양열을 냉방에 사용할 수 있다는 측면에서 대단히 매력적인 분야이다. 일반적으로 태양열 냉방은 기존의 냉방시스템 중 열에 의해서 구동되는 것을 태양열로 대체한 것이다. 지금까지 태양열 냉방기로 개발되어 사용화된 시스템은 LiBr/물 과 같은 작동매체를 활용하는 1중 효용 흡수식 냉동기, 액체 및 고체 흡수제를 활용한 제습냉방 시스템, 활성탄과 같은 고체 흡착제를 활용한 흡착식 냉방시스템이 있다. 하지만 시스템의 효율이 크게 떨어지고 고가의 비용이 들어 널리 상용화되지 않고 있다.

(4) 시스템 적용시 고려사항

(가) 부하분포

태양열 시스템의 적용을 위해서는 적용 건물의 부하의 특성을 분석하여야 한다. 건물의 용도별로 다소 차이는 있지만 일반적으로 여름철보다 겨울철에 급탕부하가 크다. 일반적인 주거용 건물의 경우 다른 용도의 건물에 비해 여

름철에 급탕부하가 현저하게 떨어지고 학교시설은 방학과 주말에 급탕부하가 발생하지 않고 업무시설 역시 주말에는 급탕부하가 발생하지 않는다. 급탕부하가 없는 기간 동안 태양열급탕시스템에 과열이 발생하고 시스템의 과열은 열매체의 압력을 증가시켜 손실을 발생하게 한다. 이로 인해 집열기에 문제가 발생하여 시스템의 성능이 현저하게 줄어든다. 따라서 적용 건물의 급탕부하 용량과 부하 발생 기간을 분석하여 태양열 시스템에 과열이 발생하지 않도록 설계하여야 한다.

#### (나) 음영 및 설치 각도

태양열 시스템은 태양광 시스템과 동일하게 태양에너지를 이용하는 시스템으로 음영이나 설치 각도의 고려사항은 비슷하다. 다만 태양광 모듈은 담당부하인 전력부하가 연중 고르게 발생하므로 어레이의 일사량을 연간 최대로 획득할 수 있도록 계획하고 태양열 급탕시스템은 겨울철 급탕부하가 급격히 크므로 동절기에 일사량을 최대한 획득할 수 있도록 계획한다. 우리나라의 경우 온수급탕용은 35~45°, 난방용은 45~55°가 적합하며 집열기의 방위는 일사 획득이 가장 많은 정남향을 원칙으로 하며, 경우에 따라 정남향  $\pm 30^\circ$ 범위 내에 설치하는 것이 일반적이다.<sup>8)</sup>

### 2.1.3. 풍력 시스템

#### (1) 풍력 시스템 개요

풍력발전은 바람에 의하여 발생하는 에너지를 전기에너지로 변환하는 에너지 변환 기술이다. 바람이 가지는 운동에너지에서 로터 블레이드가 기계적 에너지를 추출하고 이 회전력으로 발전기의 로터를 회전시켜 전력을 생산한다.

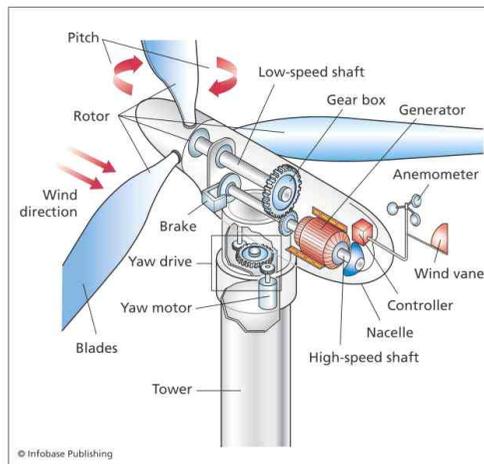
블레이드를 통과하는 바람에 의하여 발생하는 양력과 항력으로부터 로터

---

8) , 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008

블레이드를 회전시키는 힘이 발생하며, 이 때 바람이 가지는 운동에너지의 일부를 기계적인 에너지로 추출하게 된다. 블레이드의 회전 동력은 주축을 통하여 발전기의 회전자로 전달되어 전기를 생산한다. 발전기에서 생산된 전력은 축전지에 저장하여 사용하거나 전력계통에 연계하여 송전한다.

증속기를 갖는 풍력터빈에서는 저회전 고토크의 로터 회전 동력이 고회전 저토크의 동력으로 증속되어 발전기에 연결된다. 저회전 로터의 주축이 직접 발전기에 연결되는 풍력터빈은 계통 주파수와 일치시키기 위하여 전력변환장치를 사용한다.<sup>9)</sup>



(그림 2.15) 풍력발전기의 구조

## (2) 풍력 시스템 분류<sup>10)</sup>

풍력발전 시스템은 정격출력량에 따라 시스템의 규모가 결정된다. 풍력발전 시스템은 주로 산간이나 해안 지역에 대형단지 위주로 적용되며 최근에는 건축물에 적용하기 위한 소형 풍력발전 시스템의 활용이 증가하고 있다.

9) 신·재생에너지센터, 신·재생에너지백서 2010

10) 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 신·재생에너지백서 2010

[표 2.3]. 풍력발전 시스템의 용량에 따른 분류

	소형풍력발전 시스템	중형풍력발전 시스템	대형풍력발전 시스템
용량	10kW 이하	10 ~ 250kW	205kW ~ 2MW
적용범위	주택, 농장 등에 주로 독립형으로 적용	지역단위의 전력공급	중앙전력분배 방식의 대형풍력단지

풍력발전기의 회전축 방향에 따라 분류하면 수평축과 수직축으로 크게 구분한다. 바람이 불어오는 방향에 대하여 로터의 회전축 방향이 평행하게 설치되면 수평축 풍력발전기, 수직하게 설치되면 수직축 풍력발전기이다. 바람이 지면에 대하여 평행하게 불어온다고 하면 수평축은 회전축이 지면과 나란한 방향으로 설치되고, 수직축은 지면과 수직으로 설치된다.

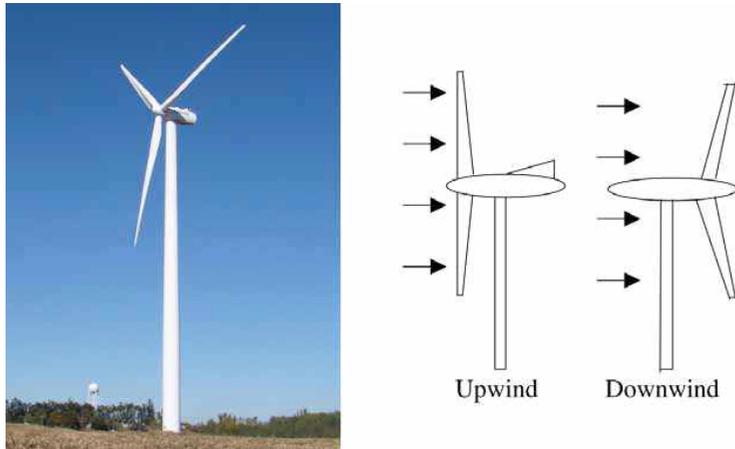
수직축 풍력발전기(Vertical Axis Wind Turbine)는 바람이 부는 방향에 관계없이 운전이 가능하기 때문에 요잉(yawing) 시스템이 불필요하다. 수직축 풍력발전기는 다양한형태가 고안되어 개발되었다. 가장 대표적인 수직축 풍력발전기는 자이로밀(gyromill), 사보니우스(Savonius), 다리우스(Darrieus) 풍력발전기이다.



(그림 2.16) 수직축 풍력발전기(왼쪽부터 자이로밀, 사보니우스, 다리우스)

수평축 풍력발전기(Horizontal Axis Wind Turbine)는 회전축의 방향이 지

면과 평행하게 설치된다. 출력이 가장 안정적이고 효율이 높기 때문에 현재의 대용량 풍력발전기에서 채택하고 있는 형태이다. 수평축은 최대의 효율을 내기 위하여 회전축을 바람이 부는 방향에 일치시키기 위한 요잉 시스템이 필요하다. 그리고 수평축 풍력발전기는 로터 블레이드가 바람을 맞이하는 방식(수풍 방식)에 따라 전방향(upwind)과 후방향(downwind) 형식으로 구분된다.

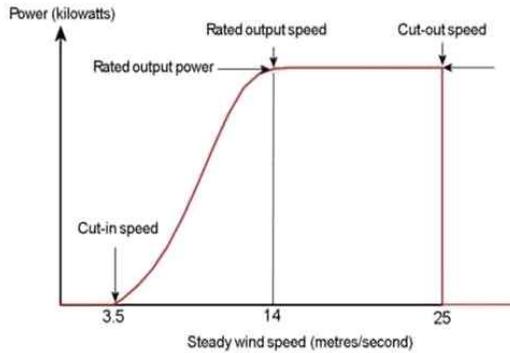


(그림 2.17) 수평축 풍력발전기와 수풍방식

### (3) 풍력발전기의 출력곡선

풍력발전기는 전력을 생산하기 위한 최소풍속(cut-in speed: 시동풍속)이 필요하며, 최소풍속으로 가동된 후 발전기의 생산전력은 풍속이 증가함에 따라 급속히 증가하고 정격풍속(rated speed)에서 최대전력을 생산하게 된다. 풍력발전기는 정지풍속(cut-out speed)에 도달하면 과회전 방지를 위해 정격출력의 30~70% 정도 유지되도록 출력이 제한된다.<sup>11)</sup>

11) , 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2002.06



(그림 2.18) 풍력발전기의 풍속 증가에 따른 출력곡선

#### (4) 시스템 적용시 고려사항

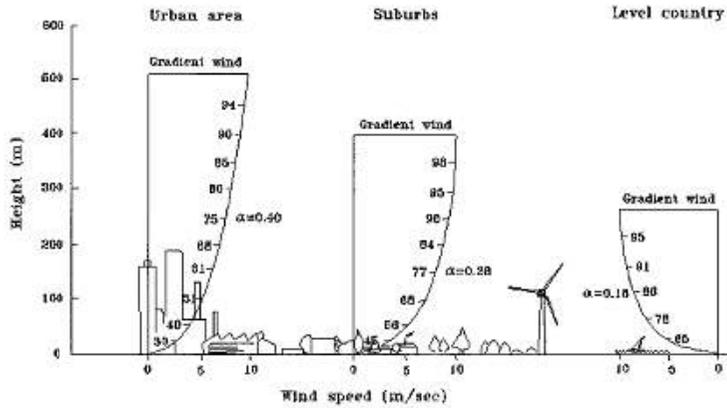
##### (가) 풍력자원

풍력발전기가 생산하는 전기의 양은 바람 속도의 3제곱에 비례한다. 풍속이 4미터인 경우와 6미터인 경우 바람의 세기는 6미터가 1.5배지만, 여기서 얻어지는 전기의 양은 5배 가까이 되기 때문에 풍력발전기 설치 지역의 바람의 세기는 매우 중요한 요소이다. 그러므로 풍력발전 시스템의 적용가능성을 판단하기 위해서는 가장 우선적으로 해당지역의 풍속을 예측하여 자원의 정량적인 잠재성 평가가 필요하다.

##### (나) 표면 거칠기

표면 거칠기는 지역의 불규칙적인 요철을 의미하며, 거칠기가 클수록 풍속의 변화는 크게 나타난다.<sup>12)</sup> 일반적으로 도심 지역에서는 교외지역 보다 거칠기가 크기 때문에 상대적으로 적정 풍속을 얻기 위해서는 더 높은 높이에 시스템을 설치하여야 한다. 또한 도시의 거칠기는 특성에 따라 다양하기 때문에 일반화하기 어렵다. 따라서 풍력발전시스템 적용 시 도시의 구성건물 밀도에 의한 도시 건물 요철도 분석이 필요하다.

12) Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, "Urban Wind Energy", Earthscan, 2009



(그림 2.19) 지표면 거칠기에 따른 풍속의 연직구조

## 2.1.4. 지열 시스템

### (1) 지열 시스템 개요

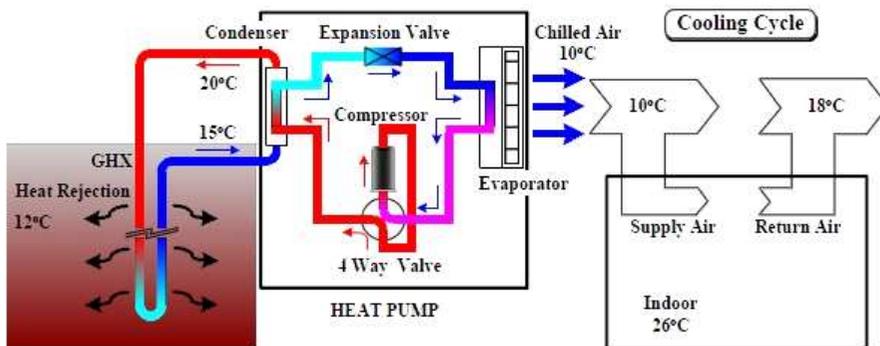
일반적으로 지열 에너지(지열)란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 태양 복사열은 지구에 도달하는 전체 복사에너지 중 약 47%를 차지하며, 대체로 특정 깊이의 지중 열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 이러한 지열 에너지는 지표면으로부터의 깊이에 따라 천부지열(shallow geothermal)과 심부지열(deep geothermal)로 구분된다. 천부지열의 온도는 지형과 지역에 따라 다소 차이가 있지만 대략 10~20℃ 정도이며, 심부지열은 40~150℃ 이상의 온도를 보인다.

지열 에너지를 활용하는 측면에서 보면, 직접이용(direct use)과 간접이용(indirect use) 기술로 분류할 수 있다. 지열 에너지의 직접이용은 말 그대로 땅 속의 중·저온 에너지(10~20℃)를 열펌프(heat pump)나 냉동기와 같은 에너지 변환기기의 열원으로 공급하여 건물 냉난방, 각종 건조 산업, 도로 용설(snow melting), 온천, 양식업 및 시설영농, 지역난방 등에 활용하는 기술을 의미한다. 반면, 간접이용 기술은 앞서 언급한 심부지열 중 대략 80℃ 이상의 고온수나 증기를 끌어올려 전기를 생산하기 위한 지열발전(geothermal power plant)에 활용하는 기술을 말한다.

현재 국내에서 지열 기술이라고 하면, 주로 천부지열을 이용하여 건물을 냉난방하거나 온수를 공급하는 지열 열펌프 시스템(geothermal heat pump systems) 기술을 말한다.

## (2) 지열 열펌프 시스템

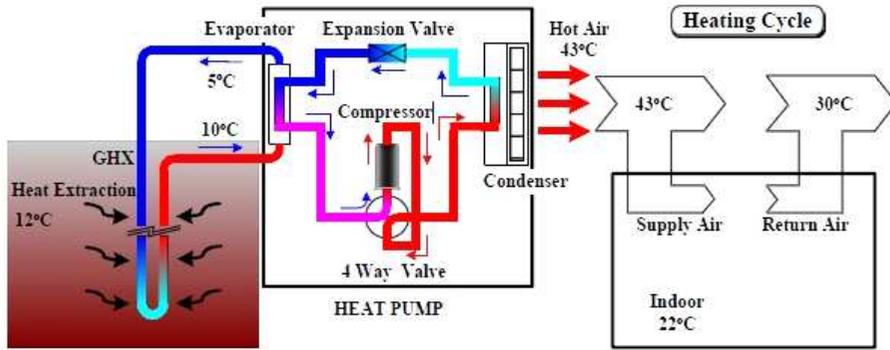
지열 열펌프 시스템은 크게 지중열교환기(ground heat exchanger 또는 borehole heat exchanger)와 열펌프로 구성된 냉난방 겸용 시스템이다. 즉, 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방과 급탕 시에는 지중의 열을 실내와 온수에 공급함으로써 하나의 시스템으로 공간 냉난방과 온수·급탕을 동시에 구현할 수 있다. 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열원(heat sink)과 온열원(heat source)의 역할을 하는 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 지열 열펌프 시스템은 높은 효율과 우수한 성능을 갖는다. 따라서 기존 냉난방 설비나 공기열원 열펌프 시스템과 비교했을 때, 효율이 높고 성능이 우수한 시스템으로 알려져 있다.<sup>13)</sup> 실제로 공기 열원 열펌프에 비해 44%까지 에너지 소비를 절감할 수 있다.<sup>14)</sup>



(그림 2.20) 지열 열펌프 시스템 냉방 사이클

13) , 산·재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007.11

14) Environmental Protection Agency, Space Conditioning: The Next Frontier, U.S. Energy Protection Agency, Office of Air and Radiation 430-R-93-004, 1993



(그림 2.21) 지열 열펌프 시스템 난방 사이클

### (3) 지열 열펌프 시스템 종류

지열 열펌프 시스템은 일반적으로 토양열원 열펌프(ground-coupled heat pump), 지하수열원 열펌프(groundwater-source heat pump), 지표수열원 열펌프(surface water heat pump) 그리고 하이브리드 지열 열펌프(hybrid GHP) 시스템 등으로 구분된다. 현재 국내외에서 주로 이루고 있는 시스템은 토양열원 열펌프 시스템이다.<sup>15)</sup>

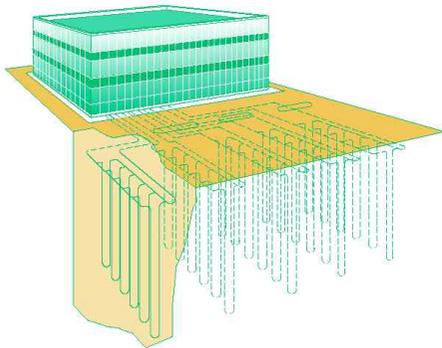
#### (가) 토양열원 열펌프(ground-coupled heat pump)

토양 열원 열펌프 시스템은 지중열교환기의 매설 형태에 따라 수직형과 수평형 시스템으로 분류된다. 수직형 지중열교환기는 지중(토양)에 수직으로 매설되며 시공부지의 제약이 상대적으로 적다. 또한 건물 냉난방부하와 부지조건에 따라 다양한 깊이로 시공할 수 있다. 일반적인 수직형 지중열교환기는 직경 100~150 mm, 깊이 75~180 m의 보어홀을 지면에서 천공한 후, 외경 3/4~1½ in.의 폴리에틸렌 U자 관을 삽입하고, 이 U자 관과 보어홀 사이의 빈공간을 그라우팅 재료로 채워 완성된다.

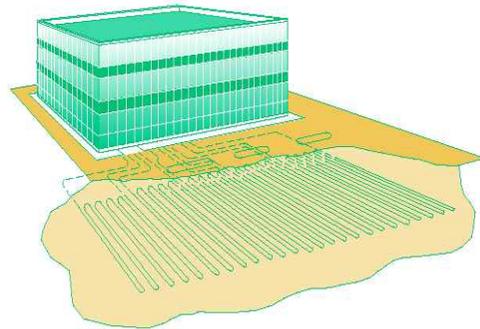
수평형 지중열교환기를 채택한 지열 열펌프 시스템으로 시공비용은 수직형

15)

에 비해 상대적으로 저렴하다. 대상 건물 주변에 수평형 지중열교환기 파이프를 매설할 수 있는 부지가 충분할 경우에 고려할 수 있는 시스템이다. 수평형 시스템의 지중열교환기 파이프는 지면에서 1.5~3 m 깊이로 굴착된 골(trench)에 매설된다. 이때 지중온도와 지중열물성치 등은 계절이나 연간 강우량 등에 의해 영향을 받기 때문에 시스템 효율은 수직형 시스템보다 다소 낮다.



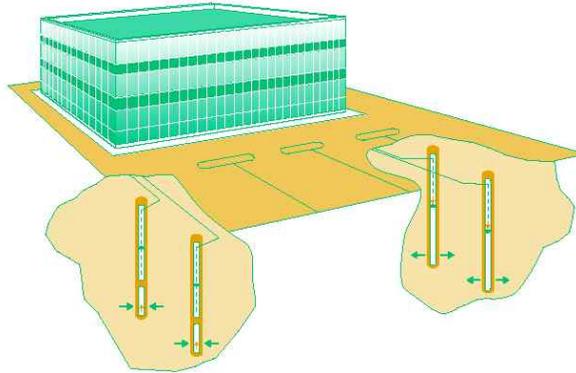
(그림 2.22) 수직형 시스템



(그림 2.23) 수평형 시스템

#### (나) 지하수열원 열펌프(groundwater-source heat pump)

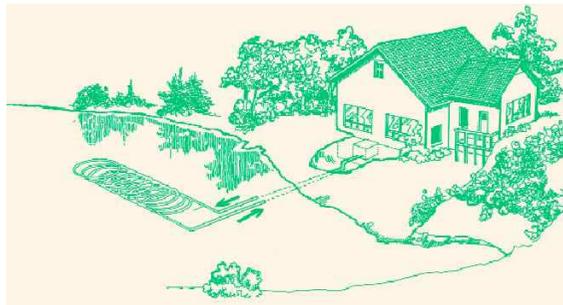
지하수열원 열펌프 시스템은 양질의 지하수가 풍부할 때, 이를 열원이나 히트싱크로 활용하는 시스템이다. 개방형 시스템은 전체 지열 시스템 중에서 효율이 높지만, 지하수에 포함된 오염물질은 배관이나 열교환기에 파울링(fouling) 또는 스케일(scale)을 야기할 수 있다. 이때 스케일은 주기적인 세정에 의해 줄일 수 있으나, 세척제에 함유된 산(acid) 성분으로 인한 금속 부식 작용은 열교환기의 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 지하수 수질이 우수한 것으로 판명되었을 경우에만 이 시스템을 적용해야 한다. 또한 시스템 설계가 적절하지 못하거나 지하 대수층 깊이가 깊을 경우, 지하수 순환펌프의 소비동력이 증가하여 시스템 효율은 감소하게 된다.



(그림 2.24) 지하수열원 열펌프 시스템

(다) 지표수열원 열펌프(surface water heat pump)

지표수열원 열펌프 시스템은 자연연못, 인공연못, 호수, 저수지, 원수 등을 냉열원과 온열원으로 활용한다. 일반적으로 밀폐형 지표수 시스템은 나선(spiral) 형상의 지중 열교환기를 사용한다.



(그림 2.25) 지표수열원 열펌프 시스템

(라) 하이브리드 지열 열펌프(hybrid GHP)

토양열원 열펌프 시스템은 지중열교환기 설치를 위한 부지와 설치비용 면에서 제약을 받으며, 건물이 커질수록 지중열교환기 설치비용은 더욱 상승하게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 제안된 방식이 하이브리드 지열 시스템

이다. 이 시스템은 보조 냉열원(냉각탑 등)이나 보조 온열원(보일러, 태양열 집열판 등)을 병행함으로써 지중열교환기 개수나 길이 등을 줄일 수 있다.

#### (4) 시스템 적용시 고려사항

##### (가) 지열 자원

지열 자원은 토양이 있는 장소라면 어디서든 이용 가능하다. 대체로 특정 깊이의 지중 열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 우리나라의 경우, 지표면으로부터 약 200m까지의 지중온도는 연평균 13~15℃로 연중 안정적이며 지역의 큰 차이 없이 일정한 에너지를 얻을 수 있다.

##### (나) 적용 가능 면적

지열 시스템은 지중열 교환기의 설치가능 면적을 확보하는 것이 가장 중요하다. 지열 시스템에서 보어홀의 설치는 열교환기 간의 열 간섭을 고려하여 4~6m의 여유 간격을 두어 설치해야 한다.<sup>16)</sup> 따라서 지하 매설물 여부와 면적을 고려하여 열교환기의 개수를 산정해야 한다.

##### (다) 지반 특성

지중(토양 또는 암반)과 지중 열교환기 사이의 열 전달에 영향을 미치는 요인으로는 지중 열교환기의 표면적(열 전달 면적)과 지중 열 물성치(thermal properties)등이 있다. 이러한 지중 열 물성치는 계절, 연간 강우량 그리고 시스템 운전에 따른 주위 토양의 수분함량의 변화 등과 같이 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 지중 열 물성치에 대한 정량적인 데이터 확보는 시스템을 최적으로 설계하는 데에 매우 중요하다.<sup>17)</sup>

---

16) , 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05

17) 심기보, 대심도 터널 내 지열시스템 적용성 검토, 한양대학교 대학원, 2010.02

## 2.2. 건축물의 신재생에너지 시스템 복합적용의 의미

### 2.2.1. 신재생에너지 시스템 복합적용의 필요성

#### (1) 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 특징

국내에서는 신재생에너지를 ‘신에너지 및 재생에너지이용·개발·보급촉진법 제2조’에서 석유·석탄·원자력·천연가스가 아닌 기존의 화석연료를 변환시켜 이용하거나 햇빛, 물, 지열, 강수, 생물 유기체 등을 포함하는 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지로 태양열, 태양광발전, 바이오매스, 풍력, 소수력, 지열, 해양에너지, 폐기물, 연료전지, 석탄액화가스화, 수소 에너지를 11개 분야로 지정하고 있다. 이중 건축물에 가장 많이 적용되는 신재생에너지 시스템은 태양열, 태양광, 풍력, 지열 시스템이다. 이 시스템들은 적용 지역의 지리적·물리적 환경 등에 많은 영향을 받는다.

지열 시스템은 연중 일정한 지중온도를 이용하기 때문에 에너지 생산이 연속적이고 일정 할 수 있다. 하지만 지중 열교환기를 설치할 일정 공간이 필요하다. 도시지역에서는 건축물의 밀도가 높고 지하 구조물이나 지하 매설물 등으로 공간 확보에 어려움이 있다.

태양열과 태양광 시스템은 태양에너지를 이용하기 때문에 야간에는 에너지 생산이 불가능하다. 또한 적용지역의 위도, 청공 상태, 주변 환경에 의한 음영의 영향을 받아 에너지 생산이 불규칙적이다. 또한 두 시스템은 같은 태양에너지를 이용하지만 생산되는 에너지는 열과 전기로 각각 다르다.

풍력 시스템은 주야간의 영향을 받지 않지만 산간이나 해안 지역 같은 풍량이 풍부한 지역에서는 에너지 생산이 비교적 안정적이거나 풍량이 적거나 풍속의 변화가 심한 지역에서는 에너지 생산이 다른 시스템에 비해 매우 불규칙적이고 그 양을 예측하기 힘들다<sup>18)</sup>.

이러한 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 패턴과 생산량을 고려하면 건

---

18) Amy H.I. Lee 2, Multi-objective optimization of a mixed renewable system with demand-side management, Renewable energy, Vol. 34, 2010

축물에 효과적인 에너지 공급을 위해서는 시스템 간의 연계를 통한 복합적용이 필요하다.

## (2) 건축물의 에너지 소비 특성

건물의 에너지 소비 특성은 용도와 규모, 지역에 따라 다르며 에너지 소비 패턴과 형태로 구분할 수 있다. 신재생에너지 시스템의 에너지 공급 패턴이 건물의 에너지 소비 패턴과 일치하지 않을 경우 시스템의 효율은 떨어진다. 따라서 복수의 신재생에너지 시스템을 복합 적용함으로써 건물의 에너지 소비 패턴과 신재생에너지 공급 패턴의 시간적 차이를 보완하여 시스템의 효율성을 높일 수 있다. 또한 건물에서 사용되는 에너지는 크게 전기와 열에너지로 구분되고 각 건물의 사용 비율이 다르므로 신재생에너지 시스템의 최종 생산에너지 형태와 건물의 에너지 소비 특성에 따라 복합 적용하는 것이 필요하다.

### 2.2.2. 건축물의 신재생에너지 시스템 복합적용 개념

건축물에 신재생에너지 시스템을 적용하여 에너지를 공급하여 활용하는 것은 경제적, 환경적으로 바람직하다. 신재생에너지에 대한 연구가 활발해지면서 시스템에 대한 경제성도 향상되고 있다. 하지만 건축물에 적용될 수 있는 신재생에너지 시스템은 시스템의 종류에 따라 에너지 생산의 패턴과 생산량이 다르며 생산되는 에너지 형태도 다르다. 또한 건축물에서 소비되는 에너지 패턴과 형태도 건물마다 다르다. 따라서 단일 신재생에너지 시스템으로 에너지를 공급하기에는 한계가 있다.

본 연구에서의 건축물의 신재생에너지 시스템 복합적용 개념은 복수의 신재생에너지 시스템을 건축물의 에너지 소비특성과 시스템의 에너지 생산특성을 고려하여 복합적용 함으로써 에너지 공급의 효율성을 향상시키고, 경제성을 향상시키는 것을 말한다.

## 2.3. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용 가능성

### 2.3.1. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용성

#### (1) 신재생에너지 시스템 적용 공간

신재생에너지는 신에너지와 재생에너지로 구분된다. 현재 건축물에 적용되는 신재생에너지 시스템은 대부분 재생에너지에 속하는 태양광 발전 시스템, 태양열 이용 시스템, 풍력 발전 시스템, 지열 에너지 시스템을 말한다. 이러한 신재생에너지 시스템을 건축물에 적용하기 위해서는 시스템을 설치하기 위한 일정 공간이 필요하다.

지열 냉난방 시스템은 지중 열교환기를 설치할 대규모 공간이 요구된다. 도시 지역에서 대부분의 건물은 지중 열교환기를 설치할 공간 확보에 어려움이 있다. 반면 초등학교 시설은 운동장 시설을 포함하고 있어 지중 열교환기를 설치할 공간 확보에 매우 유리한 이점이 있다. 2010년 서울시의 초등학교는 587개이며 학교당 운동장 면적은 평균 약 3,566㎡<sup>19)</sup>로 나타난다. 일반적으로 지열 냉난방 시스템은 태양광, 태양열, 풍력 시스템에 비해 효율과 경제성 면에서 매우 높은 것으로 알려져 있다. 또한 건축물의 에너지 소비의 대부분이 냉난방 에너지인 점을 감안하면 지중 열교환기를 설치할 충분한 공간을 확보 할 수 있다는 점은 다른 용도의 건물에 비해 초등학교 건물이 냉난방 에너지 소비를 줄일 수 있는 가능성이 매우 크다.

태양에너지를 이용하는 태양열, 태양광 시스템은 각각 태양열 집열판과 PV 어레이를 설치할 공간이 필요하다. 시스템의 설치에 건물의 옥상면과 벽면에 설치되는데 두 시스템 모두 태양에너지를 이용하기 때문에 집열판과 PV어레이에 도달하는 일사에너지에 에너지 생산량이 좌우된다. 일사에너지는 일사가 도달하는 면의 수직일 때 가장 많은 에너지를 전달한다. 따라서 일반적으로 같은 면적에 도달하는 일사에너지는 벽면보다 옥상면이 크다. 초등학교

19)

홈페이지, 서울교육통계연보, <http://www.sen.go.kr/>

건물은 대부분 5층 이하의 건물로 도시지역의 비슷한 연면적의 사무소, 상업 건물 등의 중고층 건물에 비해 건축면적이 넓어 일사에너지를 효과적으로 획득 할 수 있는 면적이 크다. 이러한 이유로 동일한 면적의 시스템을 설치 할 경우 다른 용도의 건물보다 에너지 생산에 유리하다. 또한 아파트 단지 내에 학교가 위치하거나 주변의 고층건물에 의해 일사의 유입이 열악해 질수 있으나 대부분의 학교가 남쪽에 넓은 운동장이 위치하여 도심지의 다른 용도의 건물에 비해 태양에너지의 활용도가 높다.

풍력 발전 시스템의 경우도 대부분 건물의 옥상면에 설치되기 때문에 시스템을 설치 할 수 있는 면적은 다른 용도의 건물에 비해 유리하다.

## (2) 에너지 소비 특성

실제 운영 중인 초등학교의 주요 사용자별 사용시간대를 살펴보면, 대개 오전 8시 20분부터 등교하여 오후 3시 30분전에 하교하는 것으로 나타났다. 특히, 하교시간은 학년별, 요일별 차이가 있으나, 대부분 오후 1시부터 3시 30분 사이에 하교하는 것으로 조사되었다. 교사의 경우는 오전 8시부터 출근하여 오후 5시까지 학교에 근무하는 것으로 조사 되었다.<sup>20)</sup> 따라서 초등학교 건물의 에너지 소비는 주로 주간에 이루어진다. 이러한 에너지 소비 패턴은 태양열, 태양광 시스템의 에너지 생산 패턴과 유사하여 효과적으로 에너지를 공급 할 수 있다.

초등학교의 연간 수업일수는 초·중등교육법 시행령과 주5일 수업제의 부분적(2회/월)시행에 따라 연간 220일에서 198일 이다. 일선 학교에서 실제로 수업일수에 대한 운영 실태를 조사한 결과를 살펴보면 여름방학이 7월 25에서 8월 26일까지 33일간, 겨울방학이 12월 22일에서 1월 31일까지 41일간, 학년말 방학이 2월 16일에서 2월 29일까지 14일간이다. 따라서 냉난방 부하가 가장 많이 발생하는 여름철과 겨울철의 에너지 소비가 없어 다른 용도의 건물에 비해 단위면적당 에너지 소비가 적다. 따라서 신재생에너지 시스템의 설치 용량이 다른 용도의 건물에 비해 작아 투자비면에서 유리할 가능성이

20)

, 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(1), 2008

크다.

### (3) 친환경에 대한 교육적 효과

최근 친환경에 대한 관심이 높아지면서 기술적인 연구와 더불어 학생들의 환경 친화적 태도를 위한 교육이 이루지고 있다. 정혜진의 연구(2002)에서는 체험 학습을 통해 환경문제에 관심 있던 학생뿐만 아니라 무관심했던 학생들도 관심이 높아졌으며, 자신이 실천할 수 있는 환경 본전 활동에 적극적, 긍정적인 태도로 참여하게 되었다고 하였다.<sup>21)</sup>

초등학교 건물에 신재생에너지 시스템을 적용함으로써 에너지 절약뿐만 아니라 학생들의 환경 친화적 태도를 위한 체험 학습의 일환으로 활용 될 수 있다.

### 2.3.2. 학교 시설의 신재생에너지 시스템 연구 사례

학교시설의 신재생에너지 시스템 연구에 관련된 연구를 살펴보면 단일 신재생에너지 시스템에 관한 연구가 대부분이다. 김병수의 연구(2010)에서는 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 성능을 평가하고 분석하여 냉난방에너지를 절감하고자 하였다, 이 연구에서는 지열원 냉난방 시스템을 적용할 경우 냉난방에너지의 70%가 절감되는 것으로 나타났다.<sup>22)</sup>

남현진의 연구(2010)에서는 학교 건물에 설치되는 태양광 시스템의 패널과 풍력발전기의 규모는 건물의 전력소비 패턴과 신재생에너지 시스템의 전력생산 패턴의 일치도에 따라 결정되며 태양열 집열기의 수도 급탕 수요 패턴에 따라 결정됨을 알 수 있다.<sup>23)</sup>

김주영의 연구(2006)에서는 초등학교에 적용된 20kW급 태양광발전시스템

---

21) , 체험학습 프로그램이 초등학생들의 환경 인식 변화에 미치는 영향, 서울교육대학 석사 학위논문, 2002

22) 김병수, 그린스쿨 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방에너지 성능평가분석, 대한 건축학회 논문집 제26권 제2호, 2010.02

23) 남현진 외, 학교 건물의 신재생에너지 적용을 위한 수요/공급 분석 및 평가에 관한 연구, 설비 공학회 논문집 제22권 제4호, 2010

의 성능 및 경제성을 분석한 결과 연 평균 발전 효율은 12.8%이고 전력부하 부담률은 18.8%로 경제성이 크게 떨어지는 것으로 나타났다.<sup>24)</sup>

F.Calise가 연구한 논문에서는 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 태양열 냉난방시스템을 분석한 결과 1차 에너지 절감율은 64.7%로 나타났으며 겨울철과 여름철의 태양열의존율은 각각 46.2%, 27.7%로 나타났고 단순투자비 회수 기간은 12년으로 나타났다.<sup>25)</sup>

### 2.3.3. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용 필요성

초등학교 시설은 공공기관 에너지합리화 추진 지침에서 2009년부터 신재생에너지 설치 의무화 대상건축물에 포함되었다. 의무화 기준도 신재생에너지 설비의 이용효율이 높고 투자효과가 좋은 설비 위주로 보급하여 보급의 실효성을 증대시키고, 친환경 에너지절약형 건물 설계를 유인하기 위하여 신재생에너지 이용 기준이 총 공사비 5%에서 예상에너지사용량의 10%이상을 생산할 수 있는 규모로 2011년 4월부터 변경되었으며, 2020년까지 총 예상에너지사용량의 20%까지 확대 할 계획이다. 이로써 건축물에 신재생에너지 시스템을 적용함에 있어서 실질적인 에너지 공급이 가능하도록 철저한 계획과 분석이 필요하다. 기존의 학교시설과 신재생에너지 시스템의 관련 연구를 살펴보면 단일 신재생에너지 시스템을 시뮬레이션과 실제로 설치하여 성능과 경제성을 분석한 연구가 대부분이다. 이러한 연구에서의 결과로 단일 시스템으로 어느 정도 의무 설치 기준의 에너지 공급이 가능 할 수 있다. 하지만 분담비중이 커질수록 단일 시스템으로는 감당하기 힘들며 의무화 기준이 제정된 근본적인 의미와 영리가 목적이 아닌 공공기관의 하나인 교육기관으로써 단순 법적 기준을 위한 계획이 아닌 환경에 실질적으로 효과가 있는 계획을 수행 할 필요가 있다.

2.2.절에서 언급하였듯이 건축물에 신재생에너지 시스템을 효적으로 적용하

---

24) 외, 건축물에 적용된 태양광발전시스템의 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제22권 제5호, 2006.05

25) F.Calise, Thermo-economic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates, Energy and Buildings 42, 2010

기 위해서는 건물의 에너지 소비 특성과 신재생에너지의 특성으로 고려하여 복합적용 하여야 한다.

태양에너지를 이용하는 태양과 발전 시스템과 태양열 시스템은 일사가 있는 낮에만 에너지 생산이 가능하며 태양광 발전 시스템은 전력을 태양열 시스템은 열을 생산한다. 또한 지열 시스템과 풍력시스템은 상시 에너지 생산이 가능하고 지열 시스템은 열을 풍력 시스템은 전력을 생산한다.

[표 2.4] 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템

구분	태양열	태양광	풍력	지열
사용시간	일조시	일조시	일정 풍속 이상 시	상시
시스템용도	급탕	발전	발전	냉난방
제한조건	흐린 날	흐린 날	기동풍속 제한 태풍 시 제한	없음
권장지역	일조량이 많은 지역	일조량이 많은 지역	풍속, 풍량이 풍부한 지역	모든지역

초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용성은 2.2.1에서 언급 하였듯이 에너지 소비 특성과 신재생에너지 시스템 적용 공간을 고려 할 때 다른 용도의 건물에 비해 유리하다. 따라서 여러 종류의 신재생에너지 시스템을 적용할 수 있다. 먼저 냉난방부하를 감당하는 지열 시스템을 설치 할 공간이 충분하다. 지열 시스템은 히트펌프에서 전력부하가 발생한다. 이 전력 부하는 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템에 의해 공급이 가능하며 초등학교 건물의 운영이 주간에만 이루어지는 특성상 주간에 에너지 생산이 가능한 태양광 시스템에 의한 에너지 공급이 효과적일 수 있다. 풍력 발전 시스템도 주간에 전력 생산이 가능하나 일정 풍속에서 만 전력 생산이 이루어져 태양광 발전에 비해 에너지 생산이 간헐적이다. 또한 야간에 생산된 전력은 저장 후 필요시 사용되는데 이 과정에서 많은 에너지 손실이 일어나 비효율적일 수 있다. 태양열 시스템 또한 주간에 생산된 에너지를 저장에 의한 손실 없이 공급 가능하다.

또한 초등학교 건물은 여름과 겨울의 방학기간동안 에너지 소비가 없다. 따라서 방학기간동안 단일 신재생에너지 시스템에 의해 생산되는 에너지는 소비되지 못하여 연간 매일 운영되는 건물에 비해 효율이 떨어 질 수 있다. 그러므로 각 시스템의 적정용량의 분석을 통한 신재생에너지 시스템 복합적 용으로 시스템의 효율을 높일 필요성이 있다.

## 2.4. 소결

본 장에서는 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합 적용을 위한 이론 고찰로 건축물에서의 신재생에너지 시스템 복합 적용의 의미와 신재생에너지 시스템의 종류와 특성을 고찰하고 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 적용가능성과 복합 적용 필요성에 대해 정리하였다.

신재생에너지 시스템 복합적용 필요성은 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 특성과 건축물의 에너지 소비 특성에 찾을 수 있다. 먼저 국내에서 신재생에너지 시스템을 11개의 분야로 지정하고 있으며 이중 건축물에 가장 많이 적용되는 신재생에너지 시스템은 태양광, 태양열, 풍력, 지열 시스템이다. 각 시스템들은 적용 지역의 지리적·물리적 환경에 영향을 받으며 지열 시스템은 열을 생산하며 지중 열교환기를 설치할 일정 공간이 있으면 연중 에너지 생산이 연속적이고 일정하다. 태양에너지를 이용하는 태양광 시스템과 태양열 시스템은 각각 전기와 열을 생산하고 일사 있는 주간에만 에너지 생산이 가능하며 지열 시스템에 비해 에너지 생산이 불규칙적이고 풍력 시스템은 일정 이상의 풍속을 요구하며 전기를 생산한다. 이러한 신재생에너지 시스템의 서로 다른 에너지 생산 특성은 시스템 간의 에너지 상호보완적 가능성이 있다. 또한 건물의 에너지 소비 특성도 용도, 규모, 지역에 따라 다르며 에너지 소비 패턴에 따라 신재생에너지 시스템을 복합 적용하여 효과적이 에너지 공급이 가능하다.

본 연구에서의 건축물의 신재생에너지 시스템 복합 적용은 복수의 신재생에너지 시스템을 건물의 에너지 소비 특성과 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 특성을 고려하여 복합 적용함으로써 에너지 공급의 효율성을 향상시키

는 것을 말한다.

초등학교 건물의 신재생에너지 시스템의 적용은 도시 지역의 다른 용도의 건물에 비해 유리하다. 먼저 넓은 운동장과 비교적 넓은 건축면적으로 지열 시스템과 태양에너지 시스템의 시스템 설치 공간이 풍부하여 적극적으로 신재생에너지 시스템을 적용 할 수 있다. 또한 건물의 운영이 주간에만 이루어져 태양에너지 시스템의 에너지 생산 패턴과 건물의 에너지 소비 패턴이 유사하다. 따라서 복수의 신재생에너지 시스템을 복합적용 할 수 있는 가능성이 크다. 현재 실시되고 있는 공공시설의 신재생에너지 설치의무화 제도에서 의무화 기준이 예상에너지 사용량의 10%를 기준으로 하고 있어 단일 신재생에너지 시스템 보다는 복수의 신재생에너지 시스템 복합 적용이 유리하며 교육기관으로써 법적 기준을 따르기 위함 보다는 학생들의 환경에 대한 교육적 영향과 환경 보호에 대한 모범과 책임의 필요성이 있다.

## 제3장. 초등학교 건물의 에너지 소비특성

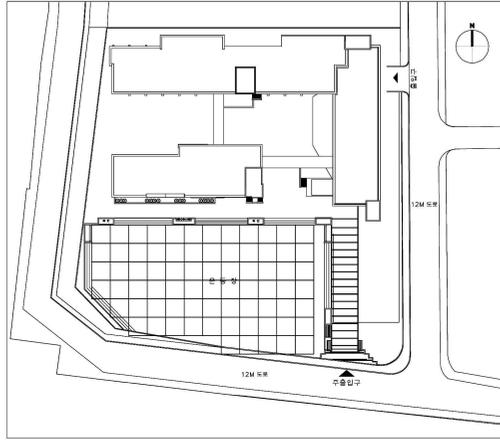
### 3.1. 대상 초등학교 건물 개요

대상 초등학교의 선정은 서울시에 위치한 587개의 초등학교를 대상으로 건물의 형태를 일자형, ㄱ자형, 분산병렬형, 폐쇄형, 집합형으로 분류하여 가장 많은 형태의 건물을 선정하였다. 분류 결과 일자형이 64개, ㄱ자형이 180개, 분산병렬형이 250개, 폐쇄형이 35개, 집합형이 58개로 분산병렬형이 가장 많은 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 일반교실의 수는 36개 학급이 102개, 30개 학급이 105개로 가장 많은 비중을 차지하였다. 이를 기준으로 서울시에 위치한 한 학교를 대상 건물도 선정하였다.

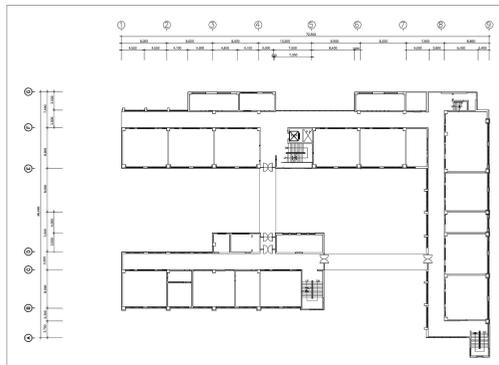
대상 초등학교 건물은 2002년에 완공된 남향 건물이며 대지 면적은 7,750.2 m<sup>2</sup>, 건축면적 2,006.8m<sup>2</sup>, 연면적 9,431.1m<sup>2</sup>의 병렬형(ㄷ)으로 5층(동측 4층)인 건물이다.

[표 3.1] 대상 초등학교 개요

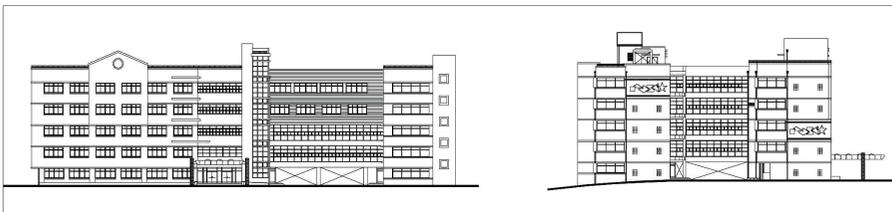
위치	서울	건물향	남향
대지면적	7,750.2m <sup>2</sup>	건축면적	2,006.8m <sup>2</sup>
연면적	9,431.1m <sup>2</sup>	공조면적	4,246.35m <sup>2</sup>
층수	5층 (동측 4층)	층고/천정고	3.7/2.7m
시설현황			
일반교실	30학급		
관리·행정	행정실, 교무실, 교장실, 보건실, 교과연구실		
특수 교실	컴퓨터실, 과학실, 어학실, 음악실, 미술실, 실과실, 도서실, 시청각실, 도덕실		



(그림 3.1) 대상 초등학교 배치도



(그림 3.2) 기준층(2층) 평면도

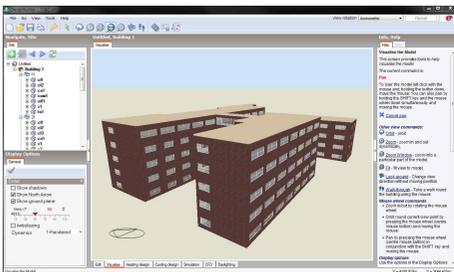


(그림 3.3) 대상 초등학교 입면도

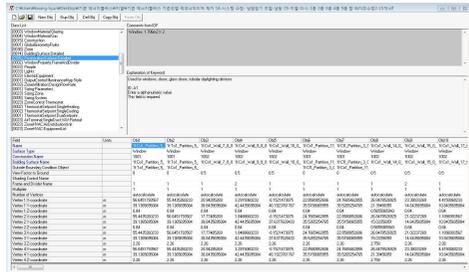
## 3.2. 에너지 시뮬레이션 개요

### 3.2.1. 시뮬레이션 도구 선정

대상 건물 에너지 소비 분석은 정밀에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus 6.0을 사용하였다. EnergyPlus 6.0은 미국 에너지 관리국에서 개발 되었으며 DOE-2와 BLAST의 장점만을 조합하여 개발된 에너지 해석 프로그램이다. 건물의 부하부분은 BLAST의 알고리즘을 기반으로 하고 시스템 해석은 DOE-2의 알고리즘을 기반으로 하며 모듈형 구조를 가지므로 시스템의 구성을 사용자가 임의로 결정 할 수 있다. 또한 해석 시간 설정이 자유롭고 태양광, 태양열, 지열 시스템과 같은 대체에너지 시스템이 가능하다. 그러나 EnergyPlus 6.0은 건물의 모델링 부분에 있어서는 다소 어려움이 있다. 따라서 EnergyPlus 6.0와 연동이 가능한 DesignBuilder 3.0를 이용하여 건물의 모델링을 실시하였다. DesignBuilder 3.0는 건물의 모델링 요소를 시각화하여 사용자가 편리하게 건물을 모델링 할 수 있으며 수정이 용이하고 AutoCAD와 연동이 가능하다.



(그림 3.4) DesignBuilder 3.0



(그림 3.5) EnergyPlus 6.0

### 3.2.2. 시뮬레이션 입력 데이터

#### (1) 대상 건물 운영 스케줄

초등학교 시설의 운영은 학교의 학사 일정에 의해 정해진다. 학사 일정은 제7차 개정 교육과정의 국민공통 기본 교육과정의 시간 배당 기준을 참고로 각 학교에서 결정한다. 학사일정의 수업일수는 각 학교마다 조금씩 차이가 있지만 연간 수업일수는 평균 200여일 이다.

[표 3.2] 제7차 개정 교육과정의 국민공통 기본 교육과정의 시간 배당 기준

구분		1	2	3	4	5	6
교과	국어	210	238	238	204	204	204
	도덕	바른생활		34	34	34	34
	사회	60	68	102	102	102	102
	수학	120	136	136	136	136	136
	과학	슬기로운생활		102	102	102	102
	실과	90	102	-	-	68	68
	체육	즐거운생활		102	102	102	102
	음악	90	102	68	68	68	68
	미술	우리들은 1학년		68	68	68	68
	영어	80	-	34	34	68	68
	재량활동	60	68	68	68	68	68
	특별활동	30	34	34	34	34	34
	연간수업 시간수	830	850	952	952	1054	1054

본 연구에서는 대상 초등학교의 학사일정을 참고하였다.

[표 3.3] 대상 초등학교 수업 일수

구분 \ 월	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	계
수업일수	22	21	25	21	19	5	20	20	28	19	0	11	211
방학기간	겨울방학: 12월20일~2월4일    학년말 방학: 2월16일~3월1일 여름방학: 7월22일~8월25일												
냉난방기간	난방기간: 11월13일~4월5일    냉방기간: 6월18일~8월31일												

[표 3.4] 대상 초등학교 수업 시정표

구 분	시 작	마 침	소요 시간
등 교	8 : 40	8 : 50	10
아침자습	8 : 50	9 : 00	10
1 교 시	9 : 00	9 : 40	40
2 교 시	9 : 50	10 : 30	40
우유급식	10 : 30	10 : 40	10
3 교 시	10 : 40	11 : 20	40
4 교 시	11 : 30	12 : 10	40
점 심	12 : 10	13 : 00	50
5 교 시	13 : 00	13 : 40	40
6 교 시	13 : 50	14 : 30	40
청소정리	14 : 30	14 : 50	20
교재연구 (방과후 활동)	14 : 50	16 : 30	100
직원종례	16 : 20	16 : 50	30

대상 초등학교의 연간 수업 일수는 211일이며 겨울방학이 47일, 학년말 방학이 14일, 여름방학이 35일이다. 난방기간은 11월 13일부터 4월 5일까지 114

일, 냉방기간은 6월 18일부터 8월 31일까지 75일간이며 방학기간을 제외하면 난방기간은 53일, 냉방기간은 40일로 나타났다.

주중 학생들의 등교시간과 하교 시간은 8시 40분, 14시 50분이며 정규 수업 후 일부 학생들의 방과 후 활동 시간이 있고 직원들의 퇴근 시간은 16시 50분이다.

## (2) 기후 데이터

시뮬레이션에 사용된 기상 데이터는 한국태양에너지학회에서 제공하는 서울지역의 표준기상데이터를 적용하였다.

## (3) 건물 부위별 열관류율

대상 초등학교는 2002년 완공된 건물로 건물 부위별 열관류율이 최근 개정된 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙(2010. 11. 05 국토해양부령 제 306호)의 지역별 건축물 부위의 열관류율 기준과는 차이가 있다. 건물 외벽의 열관류율은 냉난방부하에 큰 영향을 미친다.

본 연구에서는 최근 강화된 건축물의 에너지 절약에 대한 기준과 신재생에너지 설치 의무화 기준을 고려하여 초등학교 건물의 에너지 소비 특성 분석과 신재생에너지 시스템 최적 복합적용안 도출을 위해 대상 초등학교의 부위별 열관류율을 개정된 기준으로 일부 수정하여 적용하였다.

[표 3.5] 대상 초등학교 각 부위별 열관류율

외벽	0.36 W/m <sup>2</sup> k	내벽	0.49 W/m <sup>2</sup> k
지붕	0.2 W/m <sup>2</sup> k	최하층바닥	0.41 W/m <sup>2</sup> k
층간슬라브	1.16 W/m <sup>2</sup> k		
외부 창	2.3 W/m <sup>2</sup> k		
차폐계수	0.756	SHGC	0.668
내부 창	3.16 W/m <sup>2</sup> k		
차폐계수	0.812	SHGC	0.762

[표 3.6] 지역별 건축물 부위의 열관류율

건축물의 설비기준 등에 관한 규칙(2010. 11. 05 국토해양부령 제 306호)					
[별표3] 지역별 건축물 부위의 열관류율 (단위 : W/m <sup>2</sup> k)					
건축물의 부위/ 지역		중부	남부	제주도	
거실의 외벽	외기에 직접 면하는 경우		0.36이하	0.45이하	0.58이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.49이하	0.63이하	0.85이하
최하층에 있는 거실의 바닥	외기에 직접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.3이하	0.35이하	0.35이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.41이하	0.41이하	0.41이하
	외기에 간접 면하는 경우	바닥난방인 경우	0.43이하	0.5이하	0.5이하
		바닥난방이 아닌 경우	0.58이하	0.58이하	0.58이하
최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕	외기에 직접 면하는 경우		0.2이하	0.24이하	0.29이하
	외기에 간접 면하는 경우		0.29이하	0.34이하	0.41이하
공동주택의 측벽			0.27이하	0.36이하	0.45이하
공동주택의 층간 바닥	바닥난방인 경우		0.81이하	0.81이하	0.81이하
	그 밖의 경우		1.16이하	1.16이하	1.16이하
창 및 문	외기에 직접 면하는 경우	공동주택	2.1이하	2.4이하	3.1이하
		공동주택 외	2.4이하	2.7이하	3.4이하
	외기에 간접 면하는 경우	공동주택	2.8이하	3.1이하	3.7이하
		공동주택 외	3.2이하	3.7이하	4.3이하

#### (4) 시뮬레이션 Zoning

시뮬레이션의 Zoning은 각 실의 운영 스케줄과 환경을 고려하여 분류하였다. 대상 초등학교의 실 구성은 크게 일반 교실과 이동 수업이 이루어지는 특수교실, 관리·행정을 목적으로 하는 관리실로 구분하였다. 다만 특수교실의 경우 과학실, 어학실, 음악실, 미술실, 실과실, 도서실, 시청각실, 도덕실은 내부 환경 요소가 유사하나 컴퓨터실은 컴퓨터 사용으로 인한 내부발열이 다른 실에 비해 매우 높아 따로 구분 하였다.

#### (5) 침기율

대상 건물의 침기량은 제로에너지 생태학교 모형개발 연구(2)<sup>26)</sup>에서 실시한 실제 학교 건물에서의 블로우도어 테스트 결과를 참고하여 공조공간은 0.7ACH, 비공조공간은 1.5ACH를 적용하였다.

#### (6) 내부발열

##### (가) 인체발열

[표 3.7]은 성인 남성의 평균 대사량을 나타낸 것이다. 인체 발열량은 개인별로 차이가 있으며 일반적으로 평균 성인 여성의 인체 발열량은 성인 남성의 85%,<sup>27)</sup> 초등학생의 경우는 성인 남성의 75%이다.<sup>28)</sup> 본 연구에서는 앉은 상태의 성인 남성 발열량을 기준으로 학생들이 사용하는 교실의 경우 75%인 86.25W를 적용하였다. 또한 서울시 교육청 통계에 따르면 2010년 초등학교 전체 교원 29,335명 중 24,719명이 여성으로 전체 교원수의 약84%를 차지한다. 따라서 교실을 제외한 실들은 성인 남성의 인체발열량의 85%인 97.75W를 적용하였다.

---

26) , 조진일, 제로에너지 생태학교 모형개발 연구(2), 2009

27) 태림문화사, 건축환경과학

28) 교육부, 박효순, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형 개발에 관한 연구, 2000

[표 3.7] 성인 남성의 평균 대사량

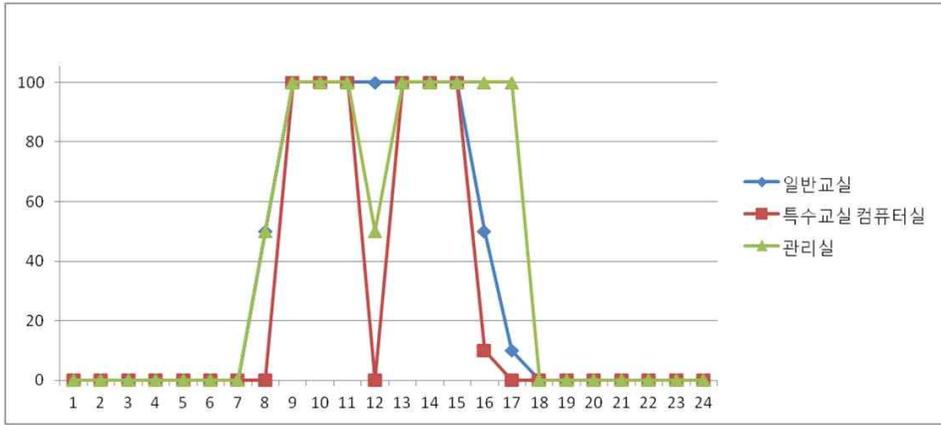
활동의 종류	성인 남성의 평균 대사량 W (kcal/h)				
	합 계	기초 대사	근육 대사	유효 대사량	발열량
깊은 수면	70(60.2)	70(60.2)	-	-	70(60.2)
누운 상태	88(75.6)	88(75.6)	-	-	88(75.6)
앉은 상태	115(98.9)	92(79.1)	23(19.8)	-	115(98.9)
가벼운 작업	150(129.0)	92(79.1)	58(49.9)	18(15.5)	132(113.5)
천천히 걷는 상태	160(137.6)	92(79.1)	68(58.5)	22(18.9)	138(118.7)
앉은 상태의 가벼운 노동	235(202.1)	93(80.0)	142(122.1)	40(34.4)	195(167.7)
중간정도의 노동	265(227.9)	93(80.0)	172(147.9)	50(43.0)	215(184.9)
심한 노동(8시간 지속)	440(378.3)	94(80.8)	346(297.5)	88(75.7)	352(302.6)
심한 노동(30분 최대)	1500(1289.8)	94(80.8)	1406(1207.2)	340(292.4)	1160(997.4)

각 실의 재실밀도와 재실 스케줄은 [표 3.8]과 같다.

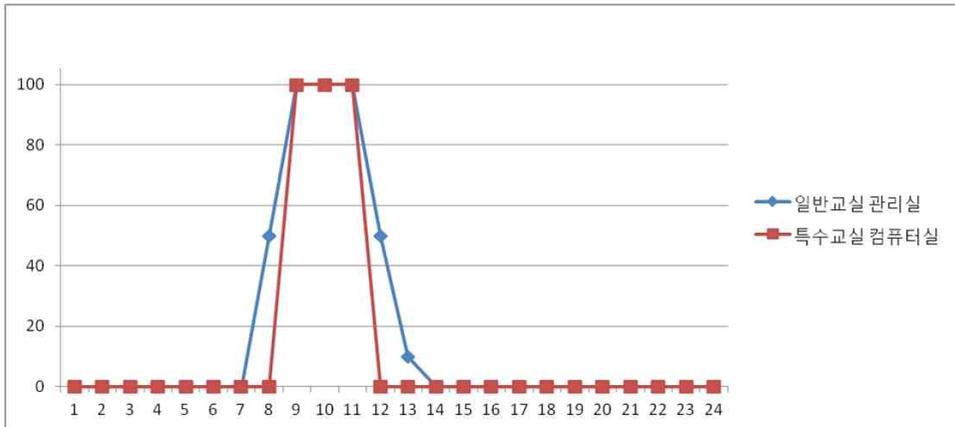
[표 3.8] 각 실의 재실밀도

	일반교실	특수교실, 컴퓨터실	관리실
재실밀도	1.9m <sup>2</sup> /인	1.9m <sup>2</sup> /인	8m <sup>2</sup> /인

일반교실과 특수교실, 컴퓨터실의 재실 인원은 대상학교의 반평균 학생수인 35명이며 관리실은 교무실과 행정실의 근무인원을 참고하여 8.4명을 적용하였다. 각 실의 스케줄은 앞서 언급한 대상 초등학교의 수업 시정표를 참고하여 작성하였다.



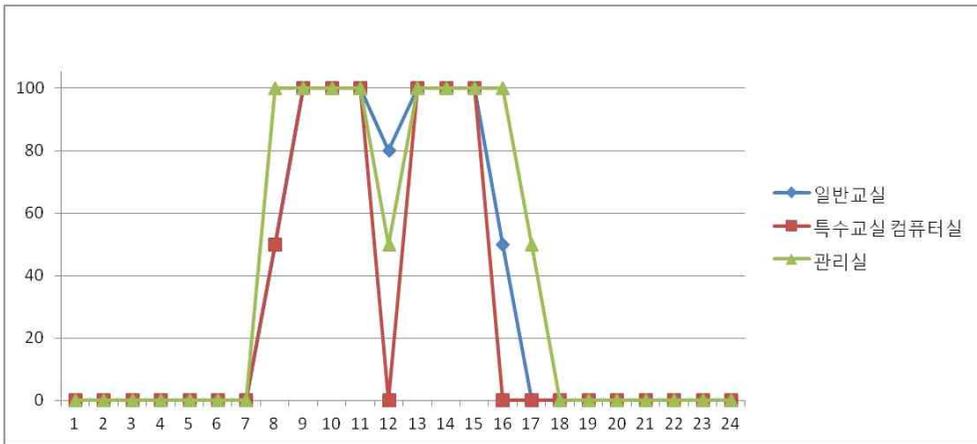
(그림 3.6) 주중 재실 스케줄



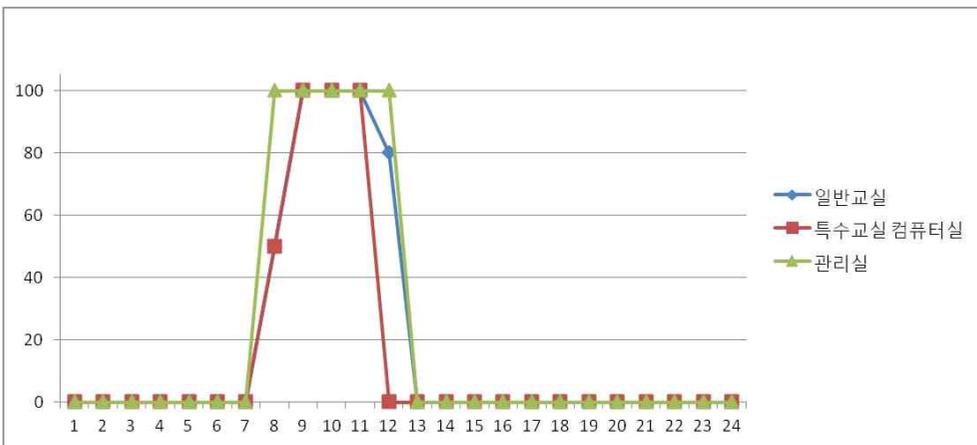
(그림 3.7) 토요일 재실스케줄

(나) 조명발열

대상 건물의 일반교실(67.5m<sup>2</sup>) 기준으로 32W 형광등 26개가 사용되고 있다. 이를 기준으로 각 실의 조명밀도는 12.3 W/m<sup>2</sup>을 적용하였다.



(그림 3.8) 주중 조명 스케줄



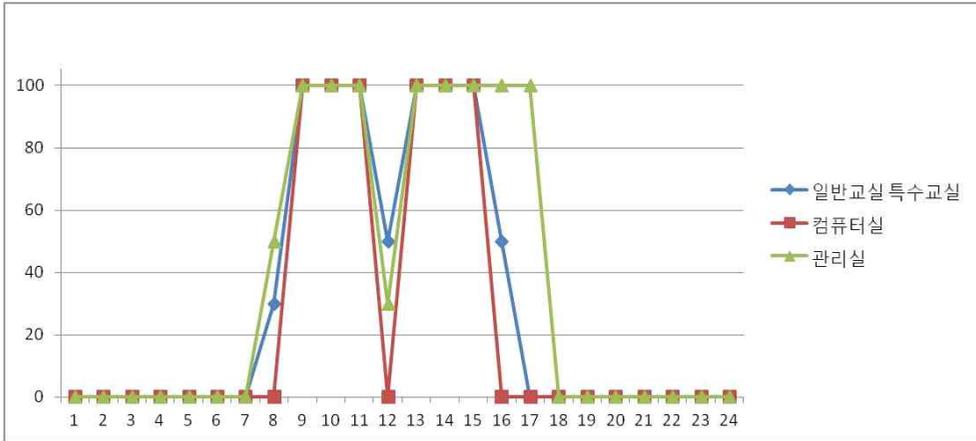
(그림 3.9) 토요일 조명 스케줄

#### (다) 기기발열

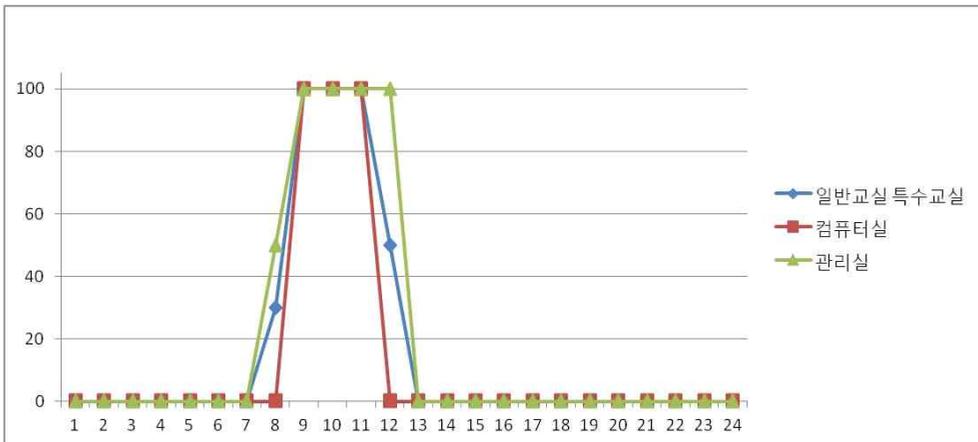
대상 건물의 기기발열은 각 실에서 가장 많은 비중을 차지하는 기기를 분류하여 적용하였으며 적용된 기기는 컴퓨터(150W), LCD TV(230W), 프린터기(120W) 등이다. 이를 기준으로 각 실의 기기밀도를 정리하면 [표 3.9]와 같다.

[표 3.9] 각 실의 기기밀도

	일반교실, 특수교실	컴퓨터실	관리실
기기밀도	2 W/m <sup>2</sup>	37.9 W/m <sup>2</sup>	5 W/m <sup>2</sup>



(그림 3.10) 주중 기기 스케줄



(그림 3.11) 토요일 기기 스케줄

### (7) 냉난방 시스템

김지연의 연구<sup>29)</sup>에 의하면 서울지역의 대부분의 학교가 냉난방 시스템으로 EHP(Electric Heatpump)와 GHP(Gas Engine Driven Heatpump)를 사용하는 것으로 조사되었다. 또한 목포와 광주지역의 학교는 대부분 EHP시스템을 사용하고 부산지역의 재건축되거나 신설되는 학교는 EHP시스템을 채택하고 있다. 경기도 학교시설을 조사한 논문<sup>30)</sup>에서도 EHP시스템이 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 대상초등학교의 냉난방 시스템은 EHP시스템을 사용하는 실과 냉방전용 에어컨과 난방전용 팬코일유닛 시스템을 사용하고 있다. 본 연구에서는 모든 실이 EHP시스템을 사용하는 것으로 가정하여 적용하였으며 냉난방 설정 온도는 냉방 27℃, 난방 22℃로 설정하였다.

## 3.3. 대상 초등학교의 에너지 시뮬레이션 결과

### 3.3.1. 냉난방에너지 소비량

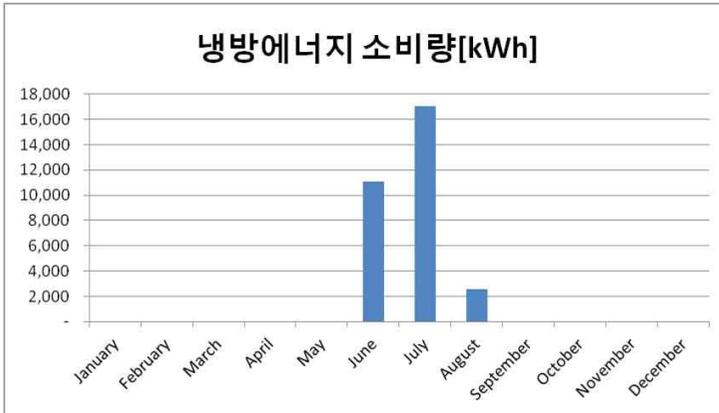
대상 건물의 에너지 시뮬레이션에서는 냉방기간을 6월 18일부터 8월 31일, 난방기간을 11월 13일부터 4월5일로 설정하였다. 또한 냉난방 시스템에 EHP 시스템을 적용하여 냉난방 에너지 소비에는 모두 전력이 사용되었다.

시뮬레이션 결과 전체 냉방에너지 소비량은 30,686kWh/yr이며 7월 냉방에너지 소비량은 17,023kWh로 냉방에너지 소비량의 약 55.47%가 소비되는 것으로 나타났고 방학기간인 8월 냉방에너지 소비량은 2,548kWh로 냉방에너지 소비량의 8%로 나타났다. 전체 난방에너지 소비량은 122,559kWh/yr로 나타났고 12월과 2월에 각각 54,493kWh, 39,969kWh로 난방에너지 소비량의 약 44.5%, 32.6%가 소비되는 것으로 나타났다.

29) , 학교시설의 신재생에너지 복합시스템 적용을 위한 최적설계기법 연구, 인하대학교 박사학위논문, 2010.08

30) 조창희 외, 초중등학교 시설유지관리비에 관한 조사 연구, 대한건축학회 논문집 24권 4호, 2008

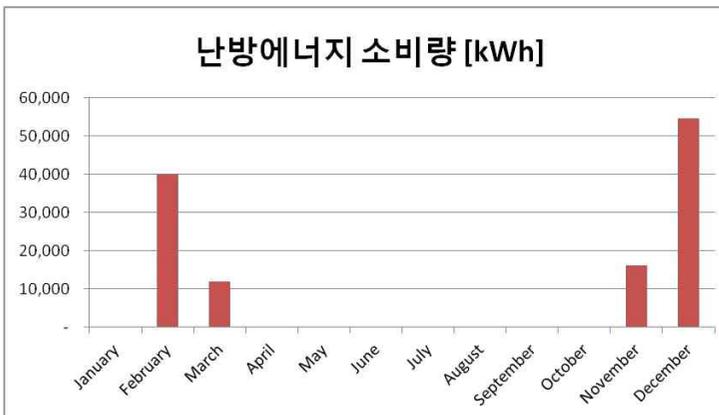
[표 3.10] 냉방에너지 소비량



(그림 3.12) 냉방에너지 소비량

	냉방에너지 [kWh]
Jan	0
Feb	0
Mar	0
Apr	0
May	0
Jun	11,115
Jul	17,023
Aug	2,548
Sep	0
Oct	0
Nov	0
Dec	0
Total	30,686

[표 3.11] 난방에너지 소비량



(그림 3.13) 난방에너지 소비량

	난방에너지 [kWh]
Jan	0
Feb	39,969
Mar	11,892
Apr	155
May	0
Jun	0
Jul	0
Aug	0
Sep	0
Oct	0
Nov	16,050
Dec	54,493
Total	122,559

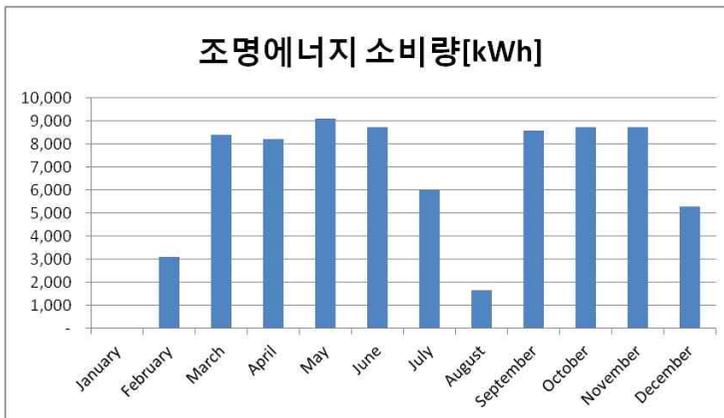
시뮬레이션 결과 난방에너지 소비량이 냉방에너지 소비량보다 약 4배 많은 것으로 나타났다. 대상 초등학교의 냉방기간은 75일 난방기간은 114일이며

방학기간을 제외하면 각각 42일 59일로 난방기간이 17일 많다. 난방기간이 많다는 것을 감안하더라도 난방에너지 소비량이 약 4배 많다는 것으로 보아 대상 초등학교는 냉방보다 난방위주의 건물이라는 것을 판단 할 수 있다.

### 3.3.2. 조명, 기기에너지 소비량

조명에너지 소비량과 기기에너지 소비량은 대상 학교의 연간 운영 스케줄에 따라 방학기간을 제외하고는 매월 고르게 나타났으며, 연간 조명에너지 소비량이 76,572kWh/yr로 연간 기기에너지 소비량 22,334/kWh/yr보다 약 3.4 배 소비되는 것으로 나타났다.

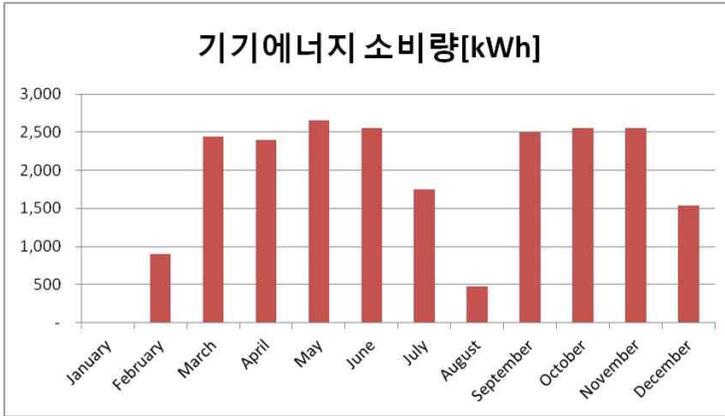
[표 3.12] 조명에너지 소비량



(그림 3.14) 조명에너지 소비량

	조명에너지 [kWh]
Jan	0
Feb	3,095
Mar	8,385
Apr	8,212
May	9,112
Jun	8,748
Jul	6,017
Aug	1,642
Sep	8,575
Oct	8,748
Nov	8,748
Dec	5,290
Total	76,572

[표 3.13] 기기에너지 소비량



(그림 3.15) 기기에너지 소비량

	기기에너지 [kWh]
Jan	0
Feb	904
Mar	2,446
Apr	2,393
May	2,659
Jun	2,552
Jul	1,755
Aug	479
Sep	2,499
Oct	2,552
Nov	2,552
Dec	1,542
Total	22,334

### 3.3.3. 급탕에너지 소비량

급탕에너지 소비량은 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(1)<sup>31)</sup>에서 조사한 실제 초등학교의 급탕에 소비되는 가스사용량을 기준으로 시뮬레이션 하였으며 도시가스 발열량 10,550Kcal/m<sup>3</sup><sup>32)</sup>을 적용하여 변환하였다.

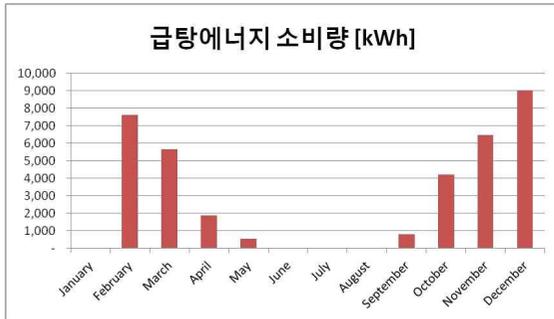
시뮬레이션 결과 연간 33,465kWh/yr 소비되며 2월, 11월, 12월에 급탕에너지 소비량의 약 64%가 소비되는 것으로 나타났으며 10월부터 3월까지의 가스 소비량이 약 90%를 차지하여 급탕에너지 소비는 겨울철에 극단적으로 편중되어 있다. 또한 급탕에너지 소비는 5월부터 9월까지 거의 소비되지 않는 것으로 나타났다.

31) , 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(1), 2008

32) 에너지기본법 제5조 제1항 관련, 에너지열량환산기준

[표 3.14] 급탕에너지 소비량

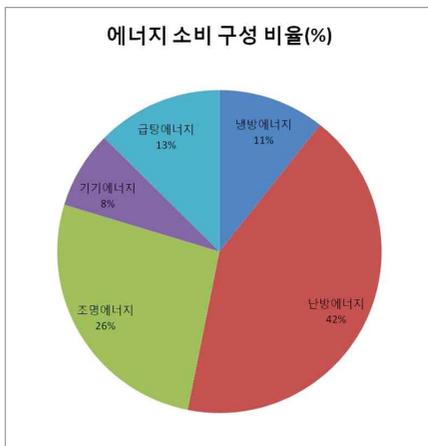
	급탕에너지 [kWh]	가스사용량 (m <sup>3</sup> )
Jan	0	0
Feb	7,616	621
Mar	5,659	461
Apr	1,867	152
May	567	46
Jun	0	0
Jul	0	0
Aug	0	0
Sep	795	65
Oct	4,226	344
Nov	6,488	529
Dec	9,024	735
Total	36,241	2,954



(그림 3.16) 급탕에너지 소비량

### 3.3.4. 대상 건물 에너지 소비 특성

시뮬레이션 결과 대상 초등학교의 연간 총 에너지 소비량은 288,394kWh/yr로 나타났으며 에너지 소비 구성 비율은 난방에너지 42%, 조명에너지 26%, 급탕에너지 13%, 냉방에너지 11%, 기기 에너지 8%로 나타났다.

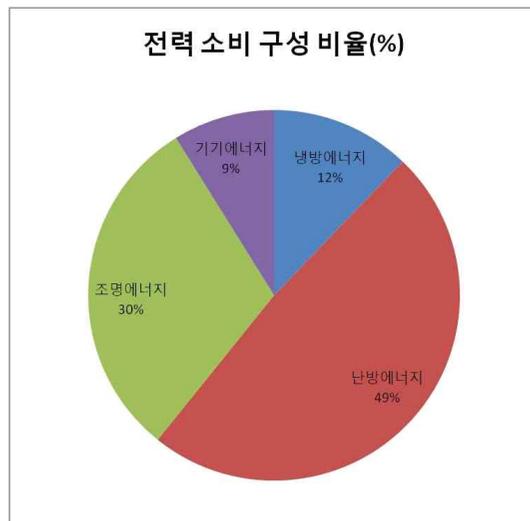


(그림 3.17) 에너지 소비 구성 비율

[표 3.15] 연간 에너지 소비량

	연간 소비량 [kWh/yr]	비율(%)
냉방에너지	30,686	11
난방에너지	122,559	42
조명에너지	76,572	26
기기에너지	22,334	8
급탕에너지	36,241	13
합계	288,394	100

대상 초등학교의 냉난방 시스템이 EHP시스템으로 전력을 사용하기 때문에 전력 소비량이 전체 에너지소비량의 약 87%이며 가스 소비량은 약 13%에 불과하다. 또한 10월부터 3월까지의 가스 소비량이 약 90%를 차지하여 급탕 에너지 소비는 겨울철에 극단적으로 편중되어 있다. 전체 전력 소비량 252,152kWh/yr 중 난방에너지 소비량은 약 49%, 냉방에너지 소비량은 12%, 조명에너지 소비량은 30%, 기계에너지 소비량은 9%로 나타났으며 냉난방에너지 소비량이 전체 전력에너지 소비량의 61%를 차지하는 것으로 나타났다.



(그림 3.18) 전력 소비 구성 비율

대상 초등학교의 에너지 소비 특성을 정리하면 전력 소비량이 매우 많으며 그 중 냉난방에 소비되는 전력이 가장 많고 가스 소비량은 겨울철에 편중되어 있다. 따라서 대상 초등학교에 신재생에너지 시스템을 적용함에 있어서 우선적으로 고려되는 사항은 냉난방에너지 소비를 절감할 수 있는 지열 냉난방 시스템으로 판단된다. 또한 전력 소비량이 매우 크기 때문에 전기를 생산할 수 있는 태양광 발전 시스템과 풍력 발전 시스템을 지열 냉난방 시스템과 복합 적용하여 전력 소비량을 절감해야 할 것으로 판단된다. 급탕에 사용되는 가스 소비량은 전력 소비량에 비해 적고 겨울철에 편중되어 있어 열을 생산하는 태양열 급탕 시스템은 다른 신재생에너지 시스템에 비해 적용 비중이

적을 것으로 판단된다.

### 3.4. 소결

본 장에서는 대상 초등학교를 선정 후 에너지 시뮬레이션을 수행하여 대상 초등학교의 에너지 소비특성을 분석하였다. 대상 초등학교는 서울시에 위치한 587개의 초등학교를 대상으로 가장 많은 비중을 차지하는 형태와 규모에 적합한 2002년에 완공된 남향 건물인 대지 면적 7,750.2m<sup>2</sup>, 건축면적 2,006.8m<sup>2</sup>, 연면적 9,431.1m<sup>2</sup>의 병렬형(ㄷ)으로 5층(동쪽 4층)인 서울시의 한 초등학교를 선정하였다. 건물이다. 에너지 시뮬레이션은 정밀에너지 해석 프로그램인 EnergyPlus 6.0과 DesignBuilder 3.0을 사용하였다. 대상 초등학교의 운영 스케줄은 학교의 학사 일정을 참고하여 작성하였으며 건물의 부위별 열관류율은 2010년 개정된 기준으로 일부 수정하여 적용하였다. 냉난방 시스템은 초등학교 시설에 대한 조사 자료를 통해 가장 많이 사용되며 최근 신축 학교에서 가장 많이 적용되는 EHP시스템을 사용하였다.

에너지 시뮬레이션 결과 총 에너지 소비량은 288,394kWh/yr로 나타났으며 냉방에너지가 30,686kWh/yr(11%), 난방에너지 122,559kWh/yr(42%), 조명에너지 76,572kWh/yr(26%), 기기에너지 22,334kWh/yr(8%), 급탕에너지 36,241kWh/yr(13%)로 나타났다. 에너지 소비 비중이 가장 냉난방에너지 소비량이 EHP냉난방 시스템의 적용으로 전력이 사용되어 에너지 구성 비율에서 전력 사용량이 87%로 많은 비중을 차지하였다. 조명에너지, 기기에너지 소비량은 방학기간을 제외하고 연중 일정한 패턴을 나타냈으며 난방에너지는 12월과 2월에 약 77.1%, 냉방에너지는 7월에 약 55.5%가 소비되는 것으로 나타났다. 또한 급탕에너지 소비량의 약 90%가 10월부터 3월까지에 극단적으로 편중되어 있다. 따라서 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템의 적용은 냉난방 에너지 소비를 절감 할 수 있는 지열 냉난방 시스템을 적극 적용하고 전력생산이 가능한 신재생에너지 시스템을 복합 적용하는 것이 효과적이라고 판단하였다.

[표 3.16] 대상 초등학교 에너지 소비량[kWh]

	조명에너지	기기에너지	냉방에너지	난방에너지	급탕에너지	합계
1월	0	0	0	0	0	0
2월	3,095	904	0	39,969	7,616	51,584
3월	8,385	2,446	0	11,892	5,659	28,383
4월	8,212	2,393	0	155	1,867	12,626
5월	9,112	2,659	0	0	567	12,337
6월	8,748	2,552	11,115	0	0	22,416
7월	6,017	1,755	17,023	0	0	24,795
8월	1,642	479	2,548	0	0	4,669
9월	8,575	2,499	0	0	795	11,869
10월	8,748	2,552	0	0	4,226	15,527
11월	8,748	2,552	0	16,050	6,488	33,839
12월	5,290	1,542	0	54,493	9,024	70,350
합계	76,572	22,334	30,686	122,559	36,241	288,394
비율	26%	8%	11%	42%	13%	100%

## 제4장. 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용

### 4.1. 초등학교 건물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템

건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템은 태양열, 태양광, 지열, 소형 풍력 발전 시스템 등을 들 수 있다. 태양에너지를 에너지원으로 하는 태양열, 태양광 시스템은 일조시간에만 에너지 생산이 가능하며 각각 온수와 전기를 공급한다. 소형풍력 발전 시스템은 상시 에너지 생산이 가능하나 일정이상의 풍속이 요구되어 장소의 제약이 따른다. 반면 지열 시스템은 연중 일정한 지중의 열을 이용하여 상시 시스템의 운전이 가능하며 신재생에너지 시스템 중에서 가장 효율이 높고, 환경 친화적인 시스템으로 알려져 있다.<sup>33)</sup>

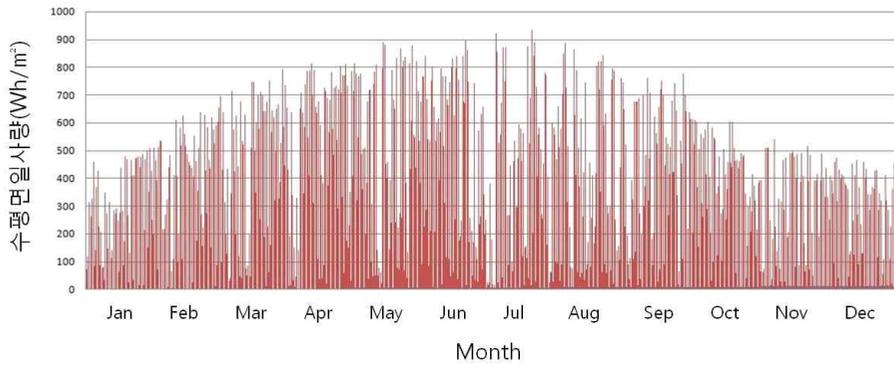
[표 4.1] 건축물에 적용 가능한 신재생에너지 시스템

구분	태양열	태양광	풍력	지열
사용시간	일조시	일조시	일정 풍속 이상 시	상시
시스템용도	급탕	발전	발전	냉난방
제한조건	흐린 날	흐린 날	기동풍속 제한 태풍 시 제한	없음
권장지역	일조량이 많은 지역	일조량이 많은 지역	풍속, 풍량이 풍부한 지역	모든지역

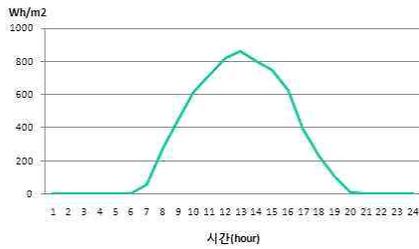
대상 초등학교가 위치한 서울지역의 연간 수평면 총 일사량과 하지와 동지의 대표일의 일사량 패턴<sup>34)</sup>을 보면 주간에만 운영되는 대상 초등학교의 스케줄과 유사하다.

33) , 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, 2006.12

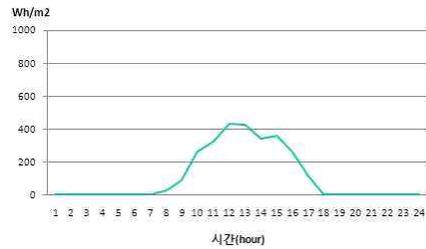
34) 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr/>



(그림 4.1) 서울지역 연간 수평면 일사량



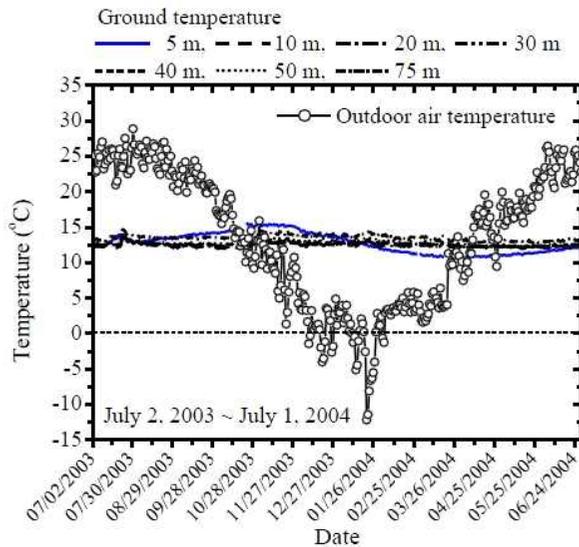
(그림 4.2) 하지(6.21)의 수평면 일사량



(그림 4.3) 동지(12.22)의 수평면 일사량

연중 변동이 큰 외기 온도와 달리 지중의 온도는 연중 일정한 분포를 나타낸다. (그림 4.4)에서 지중온도는 지하 5m에서는 외기온도의 영향을 받지만 10m이상에서는 일정온도를 유지하는 것을 확인 할 수 있다. 서울지역의 경우 지하 5m의 평균지중온도가 11.4 ~ 16.8℃의 분포를 나타내며 연중 약 4.5℃의 변화폭을 나타내고 지하 10m의 평균지중온도는 13.7 ~ 14.7℃의 분포를 나타내며 연중 약 1℃의 변화폭을 나타낸다.<sup>35)</sup>

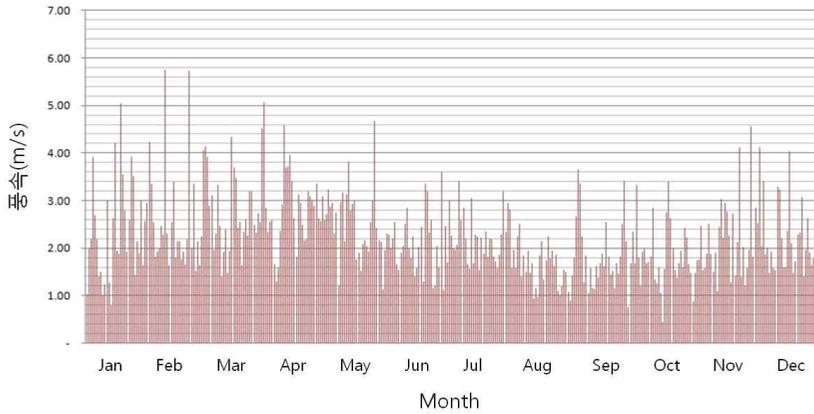
35) , 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05



(그림 4.4) 연중 외기온도 및 지중온도 변화

풍력 발전 시스템의 발전량은 풍속에 비례한다. 산간이나 해안 지역에서의 대규모 풍력발전에서는 일정 이상의 풍속이 유지되어 비교적 안정적으로 전력생산이 가능하나 도시지역에서는 상대적으로 풍속이 낮고 가변성이 심해 전력생산이 매우 불규칙적이다. 풍속은 표면의 거칠기나 고도에 따라 달라진다. 일반적으로 고도가 높을수록 풍속은 빨라진다. 도심지역의 풍력발전은 대부분 건물의 지붕에 적용되는 소형풍력발전 시스템이다. 그러므로 고층건물에서의 풍력발전은 일정이상의 풍속을 기대할 수 있으나 대상 초등학교와 같은 저층의 건물에서는 적정풍속을 기대하기 어렵다.

다음 (그림 4.5)은 서울지역의 연간 일평균 풍속을 나타낸 것이다.



(그림 4.5) 서울지역의 연간 일평균 풍속

서울지역의 일평균 풍속이 풍력발전기를 구동하기 위한 최소풍속인 3.5m/s 이상인 날은 연간 29일로 나타났으며 일평균이 아닌 시간 단위의 자료에 의하면 연간 풍속이 3.5m/s 이상인 시간은 총 1739시간으로 나타났다.

소형풍력 발전 시스템의 경우 일정 풍속 미만이거나 이상일 때 에너지 생산이 제한되기 때문에 풍속, 풍량이 풍부한 지역을 제외하고는 효율성이 떨어지며 시스템 구동 시 발생하는 진동과 소음은 수업에 방해 요소로 작용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 소형풍력발전 시스템을 적용하기에는 효과적이지 못할 것으로 판단하고 대상 초등학교 건물에 적용하기 적합한 신재생에너지 시스템으로 지열 냉난방 시스템, 태양열 급탕 시스템, 태양광 발전 시스템을 적용하는 것이 효율적이라고 판단된다.

## 4.2. 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 설치 용량

본 연구에서 대상 초등학교에 신재생에너지 시스템이 설치되는 위치는 지열의 경우 운동장과 그 주변, 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템은 옥상에 설치하는 것으로 하였다.

#### 4.2.1. 태양광 발전 시스템

본 연구에서는 태양광 발전 시스템은 대상 초등학교의 옥상에만 적용하였다. 태양전지의 종류로 다결정 실리콘 태양전지(Poly-Si)를 적용하였으며 PV 모듈 1매의 규격은 2m\*1.5m이다. 일반적으로 알려진 다결정 실리콘 태양전지의 효율은 11~13%이며,<sup>36)</sup> 본 연구에서는 12%를 적용하였다.

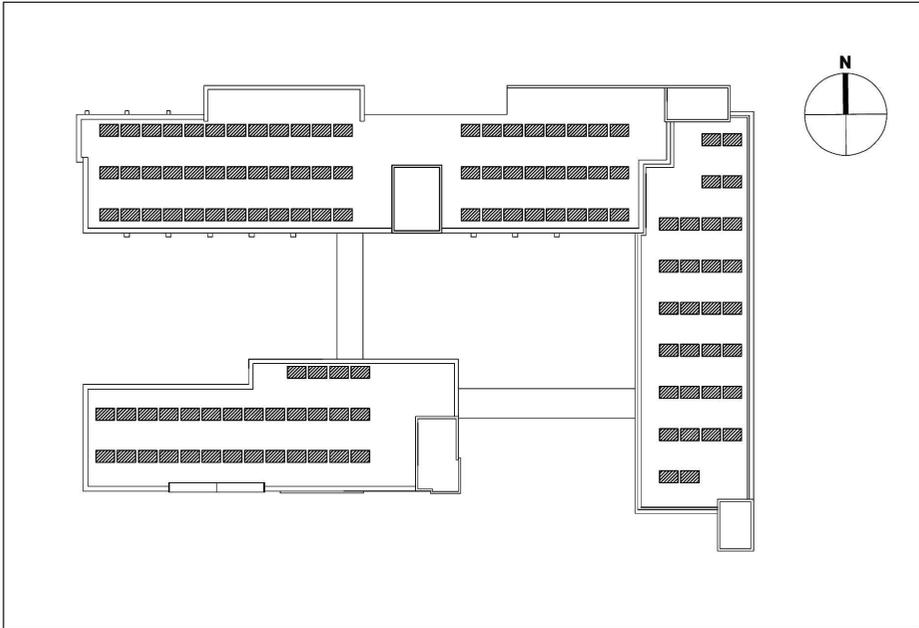
[표 4.2] 태양광 발전 시스템 설치 사양

PV Module	적용 형태	계통연계형
	종류	다결정 실리콘(POLY-SI)
	규격	2m*1.5m
	발전 용량	420Wp
	적용 각도 / 방위	30° / 0°
	효율	12%
	기타 손실	3.0%
Inverter	효율	95.5%
	기타 손실	5.0%

태양광 모듈은 태양광선과 직각일 때 가장 효율이 좋으며 지역의 위도에  $\pm 15^\circ$ 로 설치하는 것이 적합하다. 우리나라의 경우 설치각도 30°일 때 가장 많은 발전량을 보이고 있다.<sup>37)</sup> 2m\*1.5m(0.42kWp)의 PV모듈을 설치각도 30°로 적용 할 경우 어레이간 최소 이격거리(그림 2.4 참조)는 3.24m이다. 이를 기준으로 대상 초등학교의 옥상에 적용 할 경우 최대 50.4kWp용량(120매)의 태양광 발전 시스템 설치가 가능하다.

36) , 단지구모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 석사학위논문, 2008.02

37) 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문, 2007.02



(그림 4.6) 태양광 발전 시스템 배치

#### 4.2.2. 태양열 급탕 시스템

본 연구에서 적용한 태양열 급탕 시스템의 집열기는 평판형 집열기를 사용하였다. 설치 각도는 우리나라의 경우 온수급탕용은 35~45°, 난방용은 45~55°가 적합하며 집열기의 방위는 일사 획득이 가장 많은 정남향을 원칙으로 하며, 경우에 따라 정남향 ±30°범위 내에 설치하는 것이 일반적이다.<sup>38)</sup> 본 연구에서는 35°를 적용하였으며 집열기 1매의 면적은 3m<sup>2</sup>(2m\*1.5m)이다.

태양열 급탕 시스템의 배치는 태양광 발전 시스템과 같고 최대 집열기 120매 설치 가능하며 설치면적은 360m<sup>2</sup>이다.

38)

, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008

[표 4.3] 태양열 급탕 시스템 설치 사양

태양열 급탕 시스템	종류	평판형
	집열기 면적	3m <sup>2</sup> (2m*1.5m)
	적용 각도	35°
	Fr(tan alpha) 계수	0.73
	Fr UL 계수	5.00(W/m <sup>2</sup> )/°C
	Fr UL에 대한 온도 계수	0.01(W/m <sup>2</sup> )/°C
	에너지 손실율	3.0%
축열조	집열면적 당 축열조 용량	50L/m <sup>2</sup>

### 4.2.3. 지열 냉난방 시스템

지열 냉난방 시스템의 설치용량은 지중열교환기의 설치 개수에 따라 결정된다. 본 연구에서는 수직형 지중열교환기를 적용하였다. 일반적으로 수직형 지중열교환기는 직경 150mm~200mm, 깊이 100~200m의 보어홀을 지면에 천공한 후 외경 25A~40A의 폴리에틸렌 또는 폴리부틸렌 파이프를 U자관으로 형성하여 삽입한다.<sup>39)</sup> 본 연구에서는 직경 150mm, 깊이 100m의 보어홀과 외경 25A의 파이프를 적용하였다.

보어홀의 이격거리는 일반적으로 3~6m로<sup>40)41)</sup> 제시되고 있으며 천공 간격이 조밀 할수록 천공 간 열적인 간섭이 심화되어 성능의 변화에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 열간섭 방지를 고려하여 보어홀 간격을 5m로 설정하여 적용하였다. 대상 초등학교의 보어홀 설치공간은 대지면적에서 건축면적을 제외한 5,743m<sup>2</sup>까지 가능하다. 그러나 본 연구에서는 건물의 배치를 고려하여 운동장을 중심으로 건물의 남쪽 공간에만 설치하고 최대 100홀(2,500 m<sup>2</sup>)을 설치하도록 적용하였다.

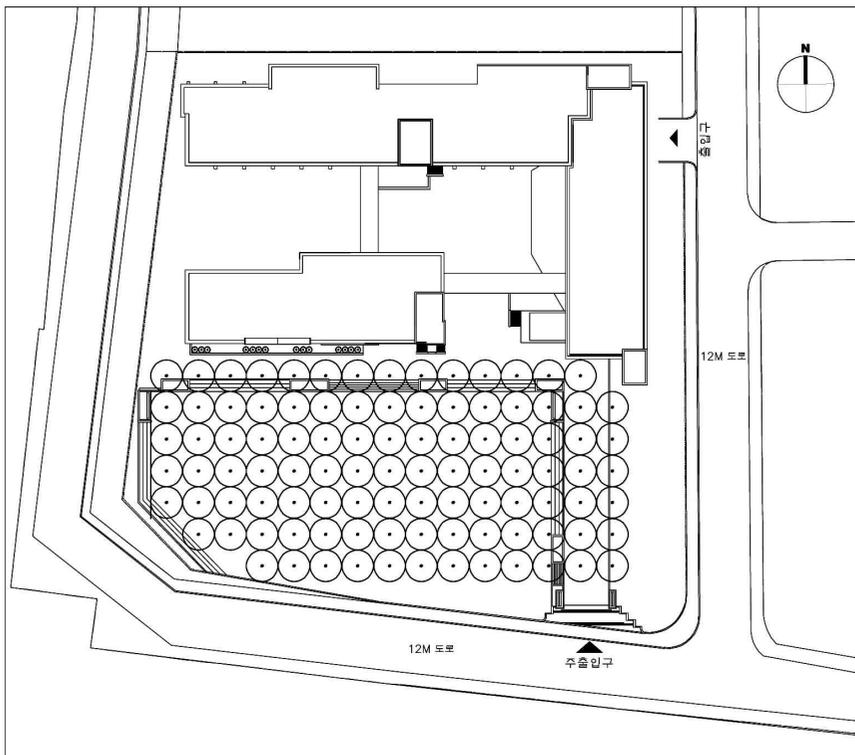
39) , GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006.10

40) 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005

41) 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구, 2006

[표 4.4] 지열 냉난방 시스템 설치 사양

히트펌프	용량	200RT(40RT 5대)
	냉방 COP	4.5
	난방 COP	3.5
지중열교환기	타입	수직 밀폐형
	보어홀 개수	100
	보어홀 길이	100m
	보어홀 반경	0.15m



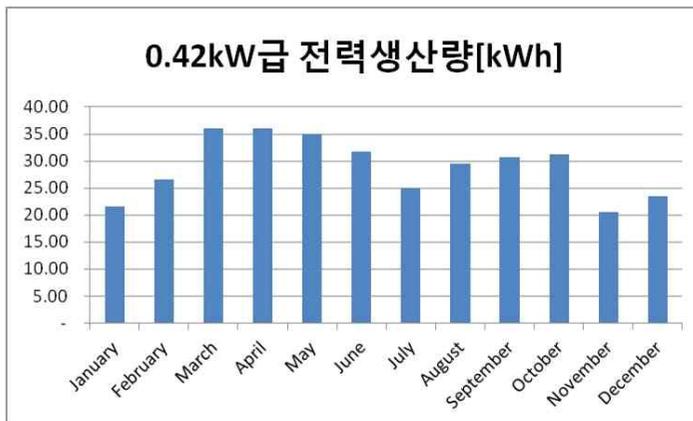
(그림 4.7) 지중열교환기 배치

### 4.3. 신재생에너지 시스템 에너지 성능

#### 4.3.1. 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템의 성능은 50.4kWp를 최대 설치 가능 용량으로 정하고 일정 비율 설치 용량을 변경하여 성능평가를 실시하였다. 시뮬레이션 결과 PV모듈 1매(0.42kWp)의 연간 전력생산량은 347.54kWh/yr로 나타났으며 3월, 4월, 5월에 각각 36.02kWh, 36.12kWh, 35.02kWh로 가장 많은 전력이 생산되고 1월과 11월에 각각 21.57kWh, 20.53kWh가 생산되어 발전량이 적은 것으로 나타났다. PV모듈의 발전 패턴은 연간 수평면 일사량 패턴과 유사하게 나타났다. 다만 3, 4, 9, 10월의 발전량은 연간 수평면 일사량 패턴보다 비교적 많은 양이 생산되었다. 이는 PV모듈의 설치각도에 의한 결과로 판단된다.

[표 4.5] 연간 발전량



(그림 4.8) PV 1매 연간 발전량

	발전량 [kWh]
Jan	21.57
Feb	26.53
Mar	36.02
Apr	36.12
May	35.02
Jun	31.80
Jul	25.00
Aug	29.50
Sep	30.75
Oct	31.22
Nov	20.53
Dec	23.47
Total	347.54



(그림 4.9) 연간 수평면 일사량

시스템 설치 용량별 연간 발전량은 다음과 같다.

[표 4.6] 태양광 발전 시스템 용량별 연간 발전량

	8.4kWp	16.8kWp	25.2kWp	33.6kWp	42kWp	50.4kWp
발전량[kWh/yr]	6,950	13,901	20,852	27,803	34,753	41,704

최대 설치용량인 50.4kWp 태양광 발전 시스템에서 생산되는 전력량은 연간 전기에너지 소비량 252,152kWh/yr의 약 16.53%인 것으로 나타났다. 그러나 대상 초등학교의 운영 스케줄을 고려하면 방학기간에 생산된 전력이 모두 건물에서 사용된다고 보기에는 다소 어려움이 있다. 따라서 태양광 발전 시스템에 의한 전력 분담률은 16.53%보다 떨어 질 것으로 판단된다. 설치 용량 별로 대상 초등학교에 적용하여 시뮬레이션을 수행한 결과를 보면 50.4kWp 태양광 발전 시스템의 전력 분담률은 13.87%로 나타났다.

[표 4.7] 태양광 발전 시스템 전력 분담률

	발전량 기준 분담율(%)	건물 운영 스케줄 고려 기준 분담율(%)	잉여 전력량(kWh)
8.4kW <sub>p</sub>	2.76	2.31	1,122
16.8kW <sub>p</sub>	5.51	4.62	2,243
25.2kW <sub>p</sub>	8.27	6.94	3,365
33.6kW <sub>p</sub>	11.03	9.25	4,487
42kW <sub>p</sub>	13.78	11.56	5,609
50.4kW <sub>p</sub>	16.54	13.87	6,731

태양광 발전 시스템 설치 용량이 증가 할수록 전력 분담률은 비례하여 증가하지만 설치 용량이 증가 할수록 잉여 전력량이 증가한다. 50.4kW<sub>p</sub> 태양광 발전 시스템의 잉여 전력량이 6,731kWh로 8.4kW<sub>p</sub> 태양광 발전 시스템의 연간 발전량인 6,950kWh와 거의 같은 량이다. 이러한 결과는 건물의 운영이 중단되는 방학기간이 포함된 초등학교 건물의 특징으로 판단되며, 잉여 전력은 방학기간인 여름철과 겨울철에 집중되어 있다. 일반적으로 이 기간동안 다른 용도의 건물에서는 전력사용이 집중된다. 따라서 잉여전력을 주변의 공공시설이나 기타 시설에 공급하는 방안이 고려되어야 할 것으로 판단된다.

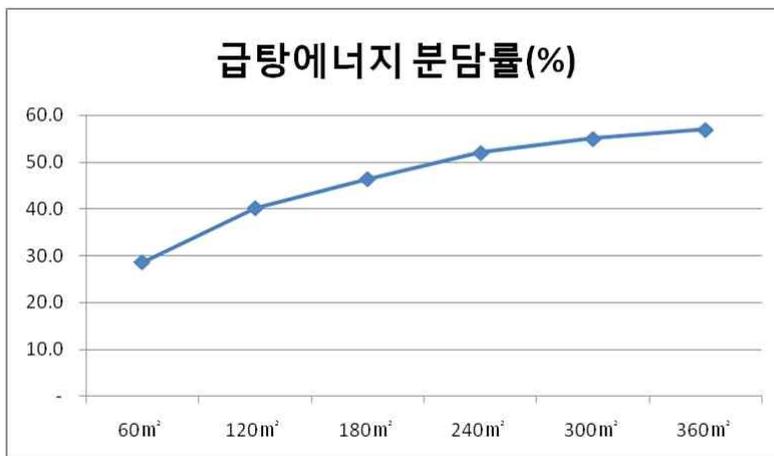
#### 4.3.2. 태양열 급탕 시스템

태양열 급탕 시스템의 성능평가 역시 태양광 발전 시스템과 같은 방식으로 최대 설치가능 면적 360㎡을 기준으로 일정 비율로 설치 면적을 변경 적용하여 성능평가를 실시하였다. [표 4.8]는 태양열 급탕 시스템 설치면적별 급탕에너지 절감량과 분담률을 나타낸 것이다.

[표 4.8] 태양열 급탕 시스템의 설치 용량별 급탕에너지 분담률

	0m <sup>2</sup>	60m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>	180m <sup>2</sup>	240m <sup>2</sup>	300m <sup>2</sup>	360m <sup>2</sup>
급탕에너지 소비량 (kWh/yr)	36,241	25,845	21,662	19,427	17,369	16,265	15,586
가스 소비량(m <sup>3</sup> )	2,954	2,106	1,583	1,583	1,416	1,326	1,270
급탕에너지 절감량 (kWh/yr)	-	10,397	14,579	16,815	18,872	19,977	20,655
급탕에너지 분담률(%)	-	28.7	40.2	46.4	52.1	55.1	57.0

태양열 급탕 시스템의 설치면적에 따라 급탕에너지 소비량의 최소 28.7%, 최대 57.0%를 분담 할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 시스템 설치면적이 증가할수록 급탕에너지 분담률 증감 폭은 감소하는 것을 볼 수 있다. 최소 설치 용량인 60m<sup>2</sup>에서 최대 설치 용량인 360m<sup>2</sup>까지 집열면적이 6배 증가 하였음에도 급탕에너지 절감량은 10,397kWh에서 20,655kWh로 약 2배가 절감되었다. 이는 시스템의 설치면적이 증가할수록 시스템의 효율성은 감소한다고 판단된다.

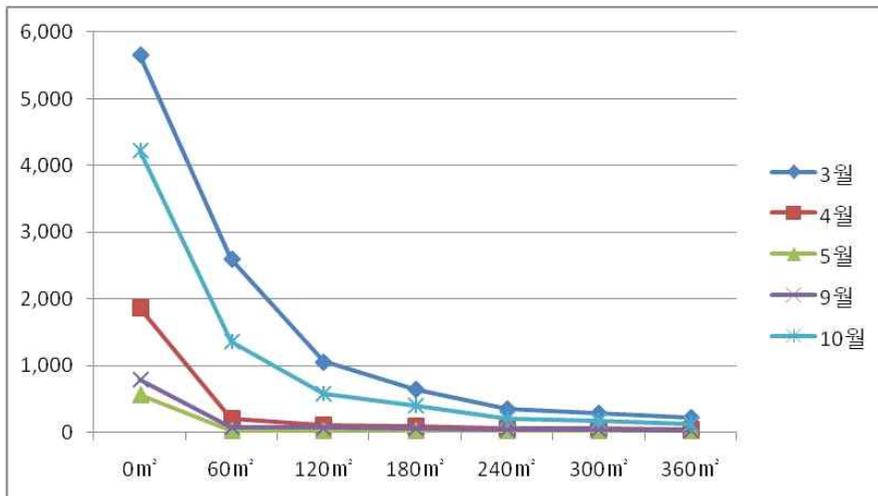


(그림 4.10) 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 분담률

이와 같은 결과는 급탕에너지 소비가 겨울철에 집중되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 다음 [표 4.9]는 상대적으로 급탕에너지 소비량이 적은 3월부터 10월까지의 월별 급탕에너지 소비량(6, 7, 8월은 급탕에너지 소비량 없음)과 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 급탕에너지 소비량을 나타낸 것이다.

[표 4.9] 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 급탕에너지 소비량(kWh)

	0m <sup>2</sup>	60m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>	180m <sup>2</sup>	240m <sup>2</sup>	300m <sup>2</sup>	360m <sup>2</sup>
3월	5,659	2,604	1,064	643	357	295	224
4월	1,867	210	115	98.1	65	60.8	49.5
5월	567	34.4	32.3	32.1	29.2	28.6	28.3
9월	795	80.8	69.5	60.9	43.2	39.5	31.1
10월	4,226	1,364	581	400	215	179	129



(그림 4.11) 태양열 급탕 시스템 설치 용량별 급탕에너지 소비량(kWh)

4월, 5월, 9월의 시스템 설치 면적에 따른 급탕에너지 소비량 변화는 시스템 설치면적 120m<sup>2</sup>이상부터는 급격하게 둔화되고 3월과 10월의 소비량 변화

는 180m<sup>2</sup> 이상부터 급격하게 둔화되는 것을 볼 수 있다. 이러한 원인은 소비량의 변화가 둔화되기 시작하는 시스템 설치면적 이상에서 급탕부하에 비해 시스템이 과도하게 설치되어 효율이 떨어지기 때문인 것으로 판단된다. 또한 태양열 급탕 시스템은 급탕부하가 없는 기간 동안 태양열 급탕 시스템에 과열이 발생하고 시스템의 과열은 열매체의 압력을 증가시켜 손실을 발생하게 한다. 이로 인해 집열기에 문제가 발생하여 시스템의 성능이 현저하게 줄어든다.<sup>42)</sup> 따라서 과도한 시스템의 설치는 효율도 떨어질 뿐만 아니라 시스템의 성능에도 문제가 발생될 것으로 판단된다.

#### 4.3.3. 지열 냉난방 시스템

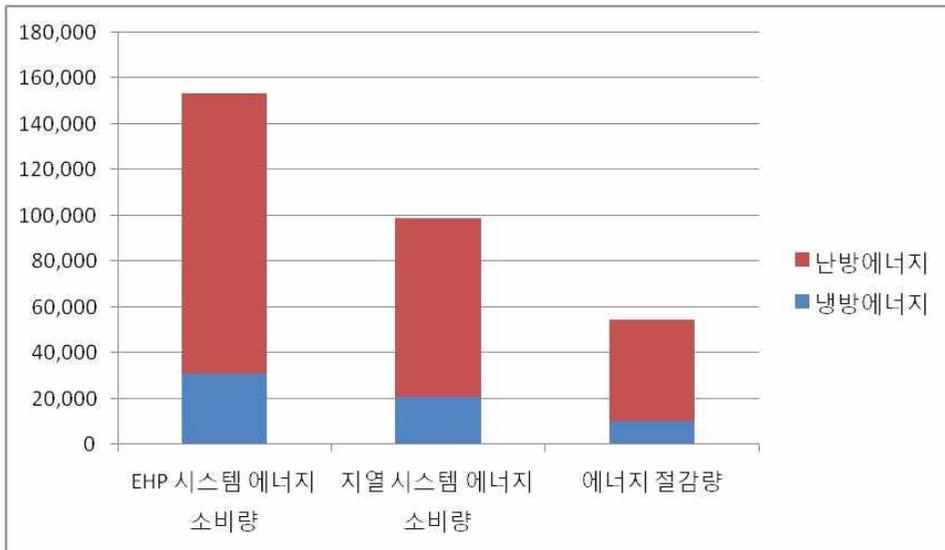
지열 냉난방 시스템은 설치 공간이 다른 신재생에너지 시스템의 영향을 받지 않고 적용 가능한 면적도 충분하다. 따라서 대상 초등학교에 적용한 지열 냉난방 시스템은 시스템 설치 용량 변화 없이 최대 설치 가능한 용량으로 성능 평가를 수행하였다. 보어홀의 깊이는 100m 이며, 천공개수는 100홀이다. 대상 초등학교에 적용한 지열 냉난방 시스템의 설비 용량은 총 200RT(히트 펌프 40RT 5대)이다.

[표 4.10] 지열 냉난방 시스템의 냉난방 에너지 분담률

	냉방에너지	난방에너지	합계
EHP 시스템 에너지 소비량[kWh/yr]	30,686	122,559	153,246
지열 시스템 에너지 소비량[kWh/yr]	20,718	77,988	98,706
냉난방 에너지 절감량[kWh/yr]	9,968	44,572	54,540
냉난방 에너지 분담률(%)	32.48	36.37	35.59

42)

, 도시 신재생 에너지 복합 적용 기술 개발 연구보고서, 2011.02



(그림 4.12) 지열 냉난방 시스템 에너지 소비 절감량(kWh)

시뮬레이션 결과 지열 냉난방 시스템에 의한 냉방에너지 절감량은 9,968kWh/yr, 난방에너지 절감량은 44,572kWh/yr로 분담률은 각각 32.48%, 36.37%인 것으로 나타났으며 총 냉난방에너지 소비량의 35.59%를 지열 냉난방 시스템이 분담하는 것으로 나타났다.

#### 4.3.4. 신재생에너지 시스템 에너지 성능 비교 분석

각 신재생에너지 시스템의 성능 분석을 요약하면 태양광 발전 시스템은 전력에너지 소비량의 분담률이 최소 2.31%에서 최대 13.87%, 태양열 급탕 시스템은 급탕에너지 소비량의 최소 28.7%에서 최대 57.0%, 지열 냉난방 시스템은 냉방에너지 소비량의 32.48%, 난방에너지 소비량의 36.37%로 총 냉난방에너지 소비량의 35.59%를 분담하는 것으로 나타났다. 태양열 급탕 시스템의 급탕에너지 분담률이 57%로 급탕에너지의 절반 이상을 생산 할 수 있는 것으로 나타났으나 대상 초등학교에서 소비되는 급탕에너지는 전체 에너지 소비에서 차지하는 비중이 상대적으로 적어 건물 전체 에너지 소비 기준으로는 다른 신재생에너지 시스템보다는 에너지 생산량이 적을 것으로 판단된다.

각 시스템의 에너지 분담률을 건물 총 에너지 소비량을 기준으로 정리하면 다음과 같다.

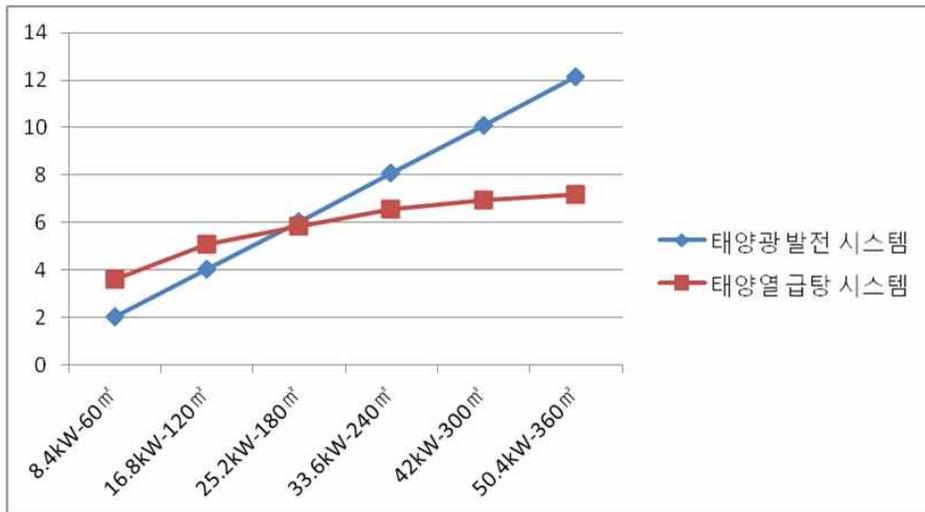
[표 4.11] 신재생에너지 시스템의 건물 총 에너지 소비량 대비 분담률

건물 총 에너지 소비량(kWh/yr)		288,394				
태양광 발전 시스템						
	8.4kWp	16.8kWp	25.2kWp	33.6kWp	42kWp	50.4kWp
발전량 (kWh/yr)	5,828	11,657	17,486	23,315	29,144	34,973
분담률 (%)	2.02	4.04	6.06	8.08	10.11	12.13
태양열 급탕 시스템						
	60m <sup>2</sup>	120m <sup>2</sup>	180m <sup>2</sup>	240m <sup>2</sup>	300m <sup>2</sup>	360m <sup>2</sup>
생산량 (kWh/yr)	10,397	14,579	16,815	18,872	19,977	20,655
분담률 (%)	3.61	5.06	5.83	6.54	6.93	7.16
지열 냉난방 시스템						
	냉방에너지		난방에너지		합계	
절감량 (kWh/yr)	9,968		44,572		54,540	
분담률 (%)	3.46		15.46		18.91	

건물 총 에너지 소비량 대비 분담률은 지열 냉난방 시스템이 18.91%로 가장 높게 나타났으며 다음으로 태양광 발전 시스템이 12.13% 분담하는 것으로 나타났다. 태양열 급탕 시스템은 7.16%로 가장 낮게 나타났다.

한편 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템의 설치 용량 변화에 따른 분담률을 살펴보면 시스템 설치면적 60m<sup>2</sup>과 120m<sup>2</sup>(태양광 발전시스템은 태양 전지 1m<sup>2</sup>당 0.42kWp - 60m<sup>2</sup>:8.4kWp, 120m<sup>2</sup>:16.8kWp)에서는 태양열 급탕 시

시스템이 분담률이 높은 반면에 그 이상 설치면적에서는 태양광 발전 시스템이 분담율이 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 태양광 발전 시스템의 경우 방학을 제외한 기간 동안에는 시스템 설치 용량이 커짐에 따라 증가되는 발전량을 일정하게 공급하는 것에 비해 태양열 급탕 시스템은 일정 설치면적 이상에서는 요구되는 부하보다 에너지 생산량이 커져 모두 소비되지 못하는 것으로 판단된다.



(그림 4.13) 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템 분담률(%) 비교

#### 4.4. 신재생에너지 시스템 복합 적용 최적 대안 제시

본 연구에서 대상 초등학교에 적용한 신재생에너지 시스템 복합적용 대안은 각 시스템의 적용가능한 범위내에서 7가지 대안으로 설정하여 에너지 분담률을 분석하였다. 본 연구에서 적용된 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템은 모두 대상 초등학교의 옥상에 설치하도록 계획하였다. 따라서 두 시스템의 설치 면적의 합이 대상 초등학교의 옥상에 설치 가능한 면적 내에서 복합 적용하여 대안을 설정하였다. 또한 지열 냉난방 시스템은 설치 가능

한 면적 모두 적용하여 복합 적용하였다.

신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 에너지 성능 결과는 다음과 같다.

[표 4.12] 신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 평가

	에너지 소비 절감량(kWh/yr)	에너지 소비 부담률(%)	순위
지열+태양열(360㎡)	75,195	26.07	7
지열+태양광(50.4kWp)	89,513	29.30	4
지열+태양열(300㎡) +태양광(8.4kWp)	80,345	27.57	6
지열+태양열(240㎡) +태양광(16.8kWp)	85,069	28.92	5
지열+태양열(180㎡) +태양광(25.2kWp)	88,841	29.94	3
지열+태양열(120㎡) +태양광(33.6kWp)	92,434	30.89	2
지열+태양열(60㎡) +태양광(42kWp)	94,081	31.17	1

신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 성능 분석 결과 최대 부담률은 31.17%, 최소 부담률은 26.07%로 나타났으며 대안별 부담률은 지열+태양열(60㎡)+태양광(42kWp) > 지열+태양열(120㎡)+태양광(33.6kWp) > 지열+태양열(180㎡)+태양광(25.2kWp) > 지열+태양광(50.4kWp) > 지열+태양열(240㎡)+태양광(16.8kWp) > 지열+태양열(300㎡)+태양광(8.4kWp) > 지열+태양열(360㎡) 순으로 높게 나타났다. 또한 2011년 신재생에너지 원별 기준단가<sup>43)</sup>(일반 건물 태양광 발전 시스템-고정식의 기준단가는 7,180천원/kW이며 태양열 급

43)

산·재생에너지 센터, 2011년 산·재생에너지 원별 기준단가, 2011.01

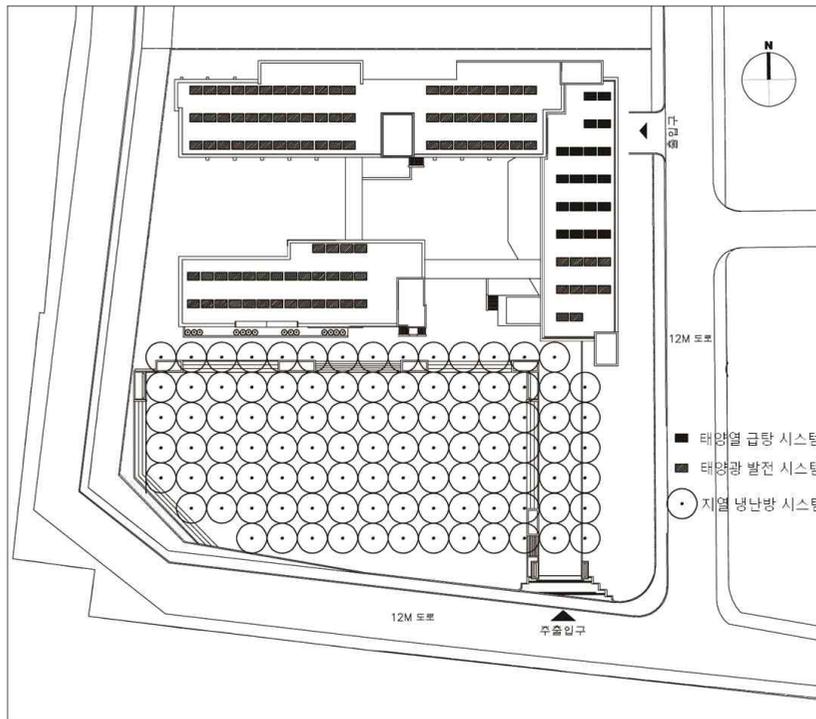
탕시스템-평판형의 기준단가는 1,012천원/m<sup>2</sup>, 일반건물 지열 시스템-수직 밀폐형 기준단가는 1,260천원/kW)를 적용하여 각 대안별 초기투자비를 산정하면 다음 [표4.13]과 같다.

[표 4.13] 신재생에너지 시스템 복합적용 초기투자비

	초기투자비(천원)	초기투자비 순위	에너지 분담률 순위
지열+태양열(360m <sup>2</sup> )	1,246,320	1	7
지열+태양광(50.4kWp)	1,243,872	7	4
지열+태양열(300m <sup>2</sup> ) +태양광(8.4kWp)	1,245,912	2	6
지열+태양열(240m <sup>2</sup> ) +태양광(16.8kWp)	1,245,504	3	5
지열+태양열(180m <sup>2</sup> ) +태양광(25.2kWp)	1,245,096	4	3
지열+태양열(120m <sup>2</sup> ) +태양광(33.6kWp)	1,244,688	5	2
지열+태양열(60m <sup>2</sup> ) +태양광(42kWp)	1,244,280	6	1

각 신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 초기투자비는 지열+태양열(360 m<sup>2</sup>)이 1,246,320천원으로 가장 많았고 지열+태양광(50.4kWp)이 1,243,872천원으로 가장 적었으며 대체로 에너지 분담률이 클수록 초기투자비도 적은 것으로 분석되었고 에너지 소비 분담률이 가장 큰 지열+태양열(60m<sup>2</sup>)+태양광(42kWp)은 1,244,290천원으로 2번째로 적었다. 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용안을 결정하는데 에너지 분담률 외에 경제성을 고려하여 제안 할 수 있으나 대안별 초기 투자비의 차이가 최대 2,448천원으로 최소 초기 투자비

의 0.2% 수준으로 큰 의미가 없다고 판단되며 1장에서 언급한 바와 같이 신재생에너지 시스템 복합적용의 필요성과 영리가 목적이 아닌 공공기관의 하나인 교육기관으로써 단순 경제성을 위한 계획이 아닌 환경에 실질적으로 효과가 있는 계획을 수행 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서 대상 초등학교의 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용안은 지열 냉난방 시스템과 태양열 급탕 시스템(60m<sup>2</sup>), 태양광 발전 시스템(42kWp) 복합 적용안으로 판단된다.



(그림 4.14) 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용안

본 연구에서의 최적 대안은 각 시스템의 설치용량을 일정 범위내에 한정하여 적용하였다. 각 시스템의 설치용량 범위를 확대하거나 축소하면 복합 대안 각 시스템의 설치용량이 차이를 보일 수 있다. 그러나 본 연구에서 분석한 각 시스템의 에너지 부담률과 대상 초등학교의 에너지 소비 특성을 고려하면 우선 적으로 지열 냉난방 시스템을 적용하여 냉난방에너지 소비량을 줄이고 태양광 발전 시스템으로 전력을 공급하여 전력 소비량을 줄이는 방법으

로 복합적용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 태양열 급탕 시스템은 급탕에너지 소비 패턴과 태양열 급탕시스템의 에너지 생산 패턴을 고려와 태양광 발전 시스템의 에너지 생산량을 비교하여 일부 적용하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

## 4.5. 소결

본 장에서는 대상 초등학교 건물에 적용가능한 신재생에너지 시스템을 선정 후 각 시스템의 설치 용량과 성능을 분석하여 대상 초등학교의 신재생에너지 시스템 복합 적용 최적 대안을 제시하였다.

대상 초등학교에 적용 가능한 신재생에너지 시스템은 건축물에 주로 적용되는 태양광 발전, 태양열 급탕, 지열 냉난방, 소형 풍력 발전 시스템 중 소형 풍력 발전 시스템을 제외하고는 모두 적용 가능하였다. 소형풍력 발전 시스템의 경우 일정 풍속 미만이거나 이상일 때 에너지 생산이 제한되기 때문에 풍속, 풍량이 풍부한 지역을 제외하고는 효율성이 떨어지며 시스템 구동 시 발생하는 진동과 소음 수업에 방해 요소로 작용할 수 있다. 또한 연간 풍속이 3.5m/s이상인 시간은 총 1739시간으로 발전 가능 시간이 많이 부족하다. 따라서 소형풍력발전 시스템을 적용하기에는 효과적이지 못할 것으로 판단하였다.

태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템은 대상 초등학교의 옥상에만 적용하였고 지열 냉난방 시스템의 지중열교환기는 운동장을 포함하여 건물의 남쪽공간에 100홀을 설치하였다. 태양광 발전 시스템의 최대 설치 용량은 50.4kWp이며 태양열 급탕 시스템의 최대 설치 면적은 360㎡이다. 각 시스템의 성능 평가는 최대 설치가능 용량에서 일정 비율 변경하여 수행하였다. 다만 지열 냉난방 시스템은 적용 가능한 최대 용량을 적용하였다.

태양광 발전 시스템의 전력 분담률이 최소 2.31%에서 최대 13.87%로 나타났다. 그러나 태양전지에서 발전된 전기 모두가 건물에서 소비되지 못하는 것으로 나타났다. 잉여전력량이 최대 6,731kWh로 8.4kWp 태양광 발전 시스

템의 연간 발전량인 6,950kWh와 거의 같았다. 따라서 잉여전력을 주변의 시설에 공급하는 방안이 고려되었다. 태양광 발전 시스템의 건물 총 에너지 소비량 기준으로 분담률은 최대 12.13%였다.

태양열 급탕 시스템의 급탕에너지 분담률은 최소 28.7%, 최대 57%였다. 그러나 건물 총 에너지 소비량과 비교하면 최대 7.16%로 분담률이 태양광 발전에 비해 떨어지는 것으로 나타났다. 이는 급탕에너지 소비가 10월부터 3월에 집중되어 일정 설치용량 이상에서는 급탕부하에 비해 시스템이 과도하게 적용되는 것을 알 수 있었다.

지열 냉난방 시스템의 냉난방에너지 분담률은 냉방이 32.48% 난방이 36.37%로 총 냉난방 에너지의 35.59%를 분담하였다. 건물 총 에너지 소비량을 기준으로 18.91% 분담하는 것으로 나타났다.

각 신재생에너지 시스템의 성능 분석을 토대로 신재생에너지 시스템 복합 적용 대안을 분석한 결과 최대 분담률은 31.17%, 최소 분담률은 26.07%로 나타났다. 대안별 분담률은 지열+태양열(60m<sup>2</sup>)+태양광(42kWp) > 지열+태양열(120m<sup>2</sup>)+태양광(33.6kWp) > 지열+태양열(180m<sup>2</sup>)+태양광(25.2kWp) > 지열+태양광(50.4kWp) > 지열+태양열(240m<sup>2</sup>)+태양광(16.8kWp) > 지열+태양열(300m<sup>2</sup>)+태양광(8.4kWp) > 지열+태양열(360m<sup>2</sup>) 순으로 높게 나타났다.

최대 분담률 복합 적용안의 초기투자비는 적용안 중 2번째로 적었으며 대안별 초기투자비가 차이가 거의 없었다. 최적 대안을 선정하는데 경제성이 중요시 될 수 있지만 본 연구에서는 최적 대안은 신재생에너지 시스템 복합 적용의 필요성과 단순 경제성을 위한 계획이 아닌 적극적으로 에너지 소비를 줄여야 한다는 점을 감안하여 지열+태양열(60m<sup>2</sup>)+태양광(42kWp)을 최적안으로 선정하였다.

## 제5장. 결론

전 세계적으로 환경문제와 에너지 고갈로 인류의 지속가능성을 위협받고 있는 가운데 이를 해결하기 위한 많은 노력들이 이루어지고 있다. 그 중 화석연료를 대체 할 수 있는 청정에너지인 신재생에너지 시스템 활용에 대한 많은 연구와 노력들이 이루어지고 있다. 우리나라도 신재생에너지 시스템의 보급을 확대하기 위한 연구와 더불어 지원과 규제가 시행 되고 있다. 그 중 하나가 학교시설을 포함한 공공시설의 신재생에너지 설치의무화이며 최근 의무화 기준이 신재생에너지 설비의 이용효율을 높이고 보급의 실효성을 높이기 위해 총 공사비 5%에서 예상에너지 사용량의 10%이상을 신재생에너지로 생산하도록 변경되었다. 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 종류, 생산 방식, 생산 패턴은 각기 다르며 건물의 에너지 소비패턴과 종류도 용도나 규모에 따라 다르다. 따라서 신재생에너지 시스템 간의 상호보완성과 건물의 에너지 소비특성을 고려한 신재생에너지 시스템 복합적용이 요구된다. 특히 초등학교 건물의 경우 신재생에너지 시스템의 적용이 유리하고 신재생에너지 시스템의 복합적용으로 효과적으로 에너지를 절약 할 가능성이 많다.

본 연구의 목적은 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템의 복합적용을 위하여 초등학교 건물의 에너지 소비 특성을 파악하고 적용가능한 신재생에너지 시스템을 선정하여 각 신재생에너지 시스템의 성능과 특징을 파악하고 각 시스템의 적용가능한 범위내에서 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합 적용 최적 대안을 제시 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 초등학교 건물의 에너지 소비 특성을 파악하기 위해 서울에 위치한 587개의 초등학교를 유형별로 분류하여 일반적이 형태와 규모의 학교를 선정하여 에너지 시뮬레이션을 통해 대상 초등학교의 에너지 소비 특성을 파악하였다.

(2) 대상 초등학교의 에너지 소비 특성은 전력 소비량이 약 87%이며 냉난방 에너지 소비량이 약 53%로 분석되었다. 또한 건물의 에너지 소비는 오전 8시에서 오후 6시까지 주간에만 소비되고 여름철과 겨울철 방학으로 냉난방 부하가 매우 높은 기간에 에너지 소비가 없다.

(3) 대상 초등학교의 적용 가능한 신재생에너지 시스템은 태양광 발전, 태양열 급탕, 지열 냉난방 시스템으로 선정하였다. 건축물에 흔히 적용되는 태양에너지, 지열, 풍력 시스템 중 풍력 발전 시스템은 에너지원인 풍량과 풍속을 얻기 어려우며 시스템 구동 시 발생하는 진동과 소음은 수업을 방해하는 요소로 작용할 수 있어 초등학교 건물에 적용하기에는 적합하지 못한 것으로 판단하였다.

(4) 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템은 대상 초등학교의 옥상에만 적용하였고 설치 가능한 최대 용량은 태양광 발전 시스템이 50.4kWp, 태양열 급탕 시스템이 360㎡이며 지열 냉난방 시스템은 건물 남쪽의 운동장과 그 주변에 지중열교환기 100홀을 설치하였으며 히트펌프의 용량은 200RT(40RT 5대)를 적용하였다.

(5) 태양광 발전 시스템의 전력 분담률은 최대 13.87%이며 대상 초등학교 건물의 총 에너지소비량의 12.13%를 분담하였다. 태양열 급탕 시스템의 급탕 에너지 분담률은 최대 50%이며 총 에너지 소비량의 7.16%를 분담하였고 지열 냉난방 시스템은 냉난방에너지 분담률은 35.59%이며 총 에너지 소비량의 18.91%를 분담하였다.

(6) 신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 성능 분석은 각 시스템의 설치 용량 최대 범위안에서 7가지 방안으로 나누어 실시하였으며 분석 결과 우선적으로 지열 냉난방 시스템을 설치하여 냉난방에너지 소비량을 줄이고 건물에서 소비되는 전력의 일부를 태양광 발전 시스템 42kWp를 적용하여 공급하며 태양열 급탕 시스템 60㎡를 적용하여 급탕 에너지의 일부를 공급하는 대

안이 최적 방안인 것으로 나타났다. 초기투자비에서도 2번째로 적은 것으로 분석 되었다. 본 연구에서는 최적 대안은 신재생에너지 시스템 복합 적용의 필요성과 단순 경제성을 위한 계획이 아닌 적극적으로 에너지 소비를 줄여야 한다는 점을 감안하여 지열+태양열(60m<sup>2</sup>)+태양광(42kWp)을 최적안으로 제시 하였다.

본 연구에서는 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합 적용을 위해 적용 가능한 신재생에너지 시스템을 선정하고 성능을 분석하여 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용안을 제시하였다. 그러나 본 연구에서 복합 적용된 신재생에너지 시스템은 건축물에 자주 쓰이는 시스템을 대상으로 하였으며 시스템의 설치 용량을 한정하여 적용 하였다. 따라서 신재생에너지 시스템 복합적용 위한 대안 설정에 한계가 있을 수 있다. 또한 다른 신재생에너지 시스템의 연구와 성능이 향상됨에 따라 다양한 신재생에너지 시스템을 고려하여 분석 할 필요성이 있으며 하나의 시스템에 복수의 신재생에너지가 적용된 신재생에너지 복합시스템에 대한 고려도 필요할 것이라도 판단된다.

## 참 고 문 헌

### <국내문헌>

1. 강소연, 공동주택단지내 풍력발전시스템의 적용방안에 관한 연구, 중앙대학교 석사학위논문, 2002.06
2. 김병수, 그린스쿨 교실에 적용된 지열원 히트펌프 시스템의 냉난방 에너지 성능평가분석, 대한건축학회 논문집 제26권 제2호, 2010.02
3. 김용환, 지열원 히트펌프 성능 예측 및 검증 기술에 관한 연구, 제주대학교 석사학위논문, 2006.12
4. 김주영 외, 건축물에 적용된 태양광발전시스템의 경제성 평가에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 제22권 제5호, 2006.05
5. 김지연, 학교시설의 신재생에너지 복합시스템 적용을 위한 최적설계기법 연구, 인하대학교 박사학위논문, 2010.08
6. 교육부, 박효순, 학교건물의 에너지절약형 냉난방시설 모형 개발에 관한 연구, 2000
7. 남현진 외, 학교 건물의 신재생에너지 적용을 위한 수요/공급 분석 및 평가에 관한 연구, 설비공학회 논문집 제22권 제4호, 2010
8. 도시재생사업단, 도시 신재생 에너지 복합 적용 기술 개발 연구보고서, 2011.02
9. 박재성, 단지규모 태양광 및 태양열 시스템의 최적공급 방안 연구, 한밭대학교 석사학위논문, 2008.02
10. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D전략 2030[태양광], 2007
11. 산업자원부, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030[지열], 2007
12. 산업자원부, GSHP의 지중열교환기 설계 및 시공기술 개발, 2006.10
13. 산업자원부, 지열냉난방 시스템 성능평가 및 엔지니어링 기술 확보, 2005.05
14. 산업자원부, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발에 관한 연구, 2006
15. 심기보, 대심도 터널 내 지열시스템 적용성 검토, 한양대학교 대학원,

2010.02

16. 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 신재생에너지백서 2008
17. 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 신재생에너지백서 2010
18. 정혜진, 체험학습 프로그램이 초등학생들의 환경 인식 변화에 미치는 영향, 서울교육대학 석사학위논문, 2002
19. 조창희 외, 초중등학교 시설유지관리비에 관한 조사 연구, 대한건축학회 논문집 24권 4호, 2008
20. 최문학, 태양광발전시스템의 최적설계에 의한 효율개선에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문, 2007.02
21. 태림문화사, 건축환경과학
22. 한국교육개발원, 제로에너지·생태학교 모형개발 연구(1), 2008
23. 한국에너지기술연구원, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008
24. 한국교육개발원, 조진일, 제로에너지 생태학교 모형개발 연구(2), 2009
25. 한국에너지기술연구원, 태양열설비 시스템 표준화, 지식경제부, 2008

### <외국문헌>

1. Amy H.I. Lee 외 2, Multi-objective optimization of a mixed renewable system with demand-side management, Renewable energy, Vol. 34, 2010
2. Environmental Protection Agency, Space Conditioning: The Next Frontier, U.S. Energy Protection Agency, Office of Air and Radiation 430-R-93-004, 1993
3. F.Calise, Thermo-economic analysis and optimization of high efficiency solar heating and cooling systems for different Italian school buildings and climates, Energy and Buildings 42, 2010
4. IPCC, Climate Change 2007: Synthesis Report, 2007.11
5. Sinisa Stankovic, Neil Campbell, Alan Harries, "Urban Wind Energy", Earthscan, 2009

6. U.S. Department Of Energy, High-Performance Home Technologies:  
Solar Thermal & Photovoltaic Systems, 2007.06

### <기타>

1. 에너지 연별 통계, 에너지경제연구원 홈페이지, <http://www.keei.re.kr/>
2. 서울특별시교육청 홈페이지, 서울교육통계연보, <http://www.sen.go.kr/>
4. 한국태양에너지학회 홈페이지, <http://www.kses.re.kr/>
5. 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, <http://www.knrec.or.kr/knrec/>

# 국 문 초 록

## 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용에 관한 연구

김 광 현

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비전공

지도교수 이 언 구

전 세계적으로 환경문제와 에너지 고갈로 인류의 지속가능성을 위협받고 있는 가운데 기존 에너지 생산시스템보다 이산화탄소의 배출이 적은 청정에너지로써, 에너지의 자립도를 높이고 기후변화에 대응하기 위한 대안으로 평가받는 신재생에너지 시스템의 중요성이 높아지고 있다. 신재생에너지 시스템의 에너지 생산 종류, 생산 방식, 생산 패턴은 각기 다르며 건물의 에너지 소비패턴과 종류도 용도나 규모에 따라 다르다. 따라서 신재생에너지 시스템 간의 상호보완성과 건물의 에너지 소비특성을 고려한 신재생에너지 시스템 복합적용이 요구된다. 특히 초등학교 건물의 경우 신재생에너지 시스템의 적용이 유리하고 신재생에너지 시스템의 복합적용으로 효과적인 에너지 절약이 가능하다.

본 연구에서는 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합적용을 위하여 초등학교 건물의 에너지 소비 특성을 파악하고 건물에 적용할 수 있는 신재생에너지 시스템을 선정한 후 각 신재생에너지 시스템의 성능과 특징을 파악하고 적용 가능한 시스템 설치 용량 내에서 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합 적용 최적 대안을 제시 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 초등학교 건물의 에너지 소비 특성을 파악하기 위해 서울에 위치한 587개의 초등학교를 유형별로 분류하여 일반적인 형태와 규모의 학교를 선정 한 후 에너지 시뮬레이션을 통해 에너지 소비 특성을 파악하였다. 에너지 소비 특성은 전력 소비량이 약 87%이며 냉난방 에너지 소비량이 약 53%로 전력 소비량이 많으며 냉난방 에너지 소비량이 절반이상이다. 또한 건물의 에너지 소비는 주간에만 소비되고 냉난방 에너지 소비가 매우 큰 여름철과 겨울철에 방학이 있어 에너지 소비가 없다.

(2) 대상 초등학교의 적용 가능한 신재생에너지 시스템으로 태양광 발전, 태양열 급탕, 지열 냉난방 시스템을 선정하였다. 풍력 발전 시스템은 에너지 원인 풍량과 풍속을 얻기 어려우며 시스템 구동 시 발생하는 진동과 소음은 수업을 방해하는 요소로 작용 할 수 있어 초등학교 건물에 적용하기에는 적합하지 못한 것으로 판단하였다.

(3) 태양광 발전 시스템과 태양열 급탕 시스템은 대상 초등학교의 옥상에만 적용하였고 설치 가능한 최대 용량은 태양광 발전 시스템이 50.4kWp, 태양열 급탕 시스템이 360m<sup>2</sup>이며 지열 냉난방 시스템은 건물 남쪽의 운동장과 그 주변에 지중열교환기 100홀을 설치하였다. 히트펌프의 용량은 200RT(40RT 5대)를 적용하였다.

(4) 태양광 발전 시스템의 전력 분담률은 최대 13.87%이며 대상 초등학교 건물의 총 에너지소비량의 12.13%를 분담하였다. 태양열 급탕 시스템의 급탕 에너지 분담률은 최대 50%이며 총 에너지 소비량의 7.16%를 분담하였고 지열 냉난방 시스템의 냉난방에너지 분담률은 35.59%이며 총 에너지 소비량의 18.91%를 분담하였다.

(5) 신재생에너지 시스템 복합적용 대안별 성능 분석은 각 시스템의 설치 용량 범위를 결정하고 복합적용하여 7가지 대안으로 나누어 실시하였다. 분석 결과 우선 적으로 지열 냉난방 시스템을 설치하여 냉난방에너지 소비량을

줄이고 건물에서 소비되는 전력의 일부를 태양광 발전 시스템 42kWp를 적용하여 공급하며 태양열 급탕 시스템 60m<sup>2</sup>를 적용하여 급탕 에너지의 일부를 공급하는 대안이 최적 방안인 것으로 나타났다.

본 연구에서는 초등학교 건물의 신재생에너지 시스템 복합 적용을 위해 적용 가능한 신재생에너지 시스템을 선정하고 성능을 분석하여 최적 신재생에너지 시스템 복합 적용 대안을 제시하였다. 그러나 본 연구에서 복합 적용된 신재생에너지 시스템은 건축물에 주로 쓰이는 시스템을 대상으로 하였으며 시스템의 설치 용량을 한정하여 적용하였다. 따라서 신재생에너지 시스템 복합적용 대안 설정에 한계가 있을 수 있다. 따라서 다양한 신재생에너지 시스템을 고려하여 분석 할 필요성이 있으며 하나의 시스템에 복수의 신재생에너지가 적용된 신재생에너지 복합시스템에 대한 고려도 필요할 것이라고 판단된다.

## <ABSTRACT>

### A Study on the Application of Integrated Renewable Energy systems to the Elementary School

Kim, Kwang-Hyun

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Eon Ku Rhee, Ph.D

As environmental issues and energy depletion are posing threats to sustainability of humans throughout the world, the importance of renewable energy is emphasized, which is clean energy emitting less CO<sub>2</sub> than the existing energy production systems, improving energy self-sufficiency and also being considered as a measure to respond to climate change. The energy production of renewable energy systems varies in the aspects of type, method and pattern and energy consumption pattern and type of buildings are also different according to their use and size. Therefore, it is necessary to complement each other among the systems and the application of integrated renewable energy system, considering energy consumption properties of buildings. In particular, in the case of elementary school buildings, the application of such energy systems is beneficiary and their integrated application is most likely to save energy effectively.

The purpose of this research is to suggest an optimum alternative within the applicable range, in order to the application of integrated renewable energy systems to elementary school buildings, through

grasping the buildings' energy consumption properties, selecting the applicable systems and figuring out each system's performance and properties.

The study results are summarized as follows.

(1) In this study, in a bid to find out the energy consumption properties of elementary school buildings, I categorized 587 elementary schools in Seoul according to their type, selected a school with typical type and size and grasped the energy consumption properties through running energy simulations. The properties have proved that power consumption is about 87% and the amount of cooling and heating energy consumption accounted for nearly 53%. Furthermore, energy of the buildings is only consumed during the daytime, while not consumed in the summer and winter because of vacation, though the cooling and heating loads are very high in the seasons.

(2) I selected a photovoltaic system, a solar hot water heating system and a Ground Source Heat Pump(GSHP) system, as applicable renewable energy systems for the subject elementary school. In the case of a wind power system, it is hard to gain air volume and wind speed required as energy sources and shaking and noise occurring when running the system, may disturb classes. Due to the fact, I concluded that the system is not appropriate for the school buildings.

(3) Photovoltaic and solar hot water heating systems are only applied on the rooftop of the subject elementary school and the maximum installable volume is 50.4kWp with photovoltaic systems and 360 with solar hot water heating systems. In addition, in the case of GSHP

systems, I installed 100 holes of ground heat exchangers on the playground south and around a building and applied the volume of heat pumps as much as 200RT(40RT 5pumps).

(4) Power sharing rate of photovoltaic systems was up to 13.87% and accounted for 12.13% of the total energy consumption of the subject elementary school building. Heating energy sharing rate of solar hot water heating systems is up to 50% and accounted for 7.16% of the total energy consumption, while cooling and heating energy sharing rate of GSHP system is 35.59% and accounted for 18.91% of the total energy consumption.

(5) I conducted the performance analysis of alternatives of the application of integrated renewable energy systems, according to the 7 divided measures within the maximum range of each system's installation volume. As a result of the analysis, I found out the optimum solution: the installation of the GSHP systems leads to reduction of cooling and heating energy consumption; the application of 42kWp of photovoltaic systems supplies part of electric power consumed in buildings; the application of 60 of solar hot water heating systems supplies part of the electric power.

In this research, in order to the application of integrated renewable energy systems to elementary school buildings, I suggested an optimum alternative of the application of integrated renewable energy systems, through selecting the applicable systems and analyzing their performance. In this study, however, the application of integrated renewable energy systems were targeted on the ones much used in buildings and they were applied with installing limitation in their volume. Accordingly, there

is likely a limit in coming up with an alternative for the application of integrated renewable energy systems. In addition, I believe that as the research and performance of other renewable energy systems develop, we need to analyze them with consideration of various ones, including complex systems of one system combined with several renewable energy systems.