

第 110 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

공동주택단지에서의
신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구
A Study on the Application of Renewable Energy
System in Apartment Complex

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
丁 善 美
2008年 12月

공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구




A Study on the Application of Renewable Energy
System in Apartment Complex

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함.

2008年 12月

中央大學校 大學院
建築學科 建築環境 및 設備專攻
丁 善 美

丁善美의 碩士學位論文으로 認定함.

審査委員長	朴 辰 哲	
審査委員	權 寧 喆	
審査委員	李 彦 求	

中央大學校 大學院

2008年 12月

<제 목 차 례>

제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적.....	1
1.2 연구의 범위 및 방법.....	2
제 2 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 이론적 고찰	5
2.1 태양광시스템.....	5
2.1.1 태양광(PV, Photovoltaic)시스템.....	5
2.1.2 BIPV(Building Integrated Photovoltaic) 시스템.....	16
2.1.3 공동주택단지에서의 태양광시스템 적용 사례.....	22
2.2 태양열시스템.....	26
2.2.1 설비형 태양열시스템.....	26
2.2.2 공동주택단지에서의 태양열시스템 적용 사례.....	31
2.3 지열시스템.....	34
2.3.1 지열 히트펌프 시스템.....	34
2.3.2 공동주택단지에서의 지열시스템 적용 사례.....	41
제 3 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용 프로세스	42
3.1 태양광 및 태양열시스템 적용을 위한 고려 요소.....	42
3.1.1 건축 계획적 요소.....	42
3.1.2 태양광시스템 적용을 위한 기술적 고려 요소.....	44
3.1.3 태양열시스템 적용을 위한 기술적 고려 요소.....	51
3.2 지열 히트펌프 시스템 적용을 위한 고려 요소.....	53
3.3 공동주택단지에서 신재생에너지 시스템 적용을 위한 계획 프로세스.....	54
제 4 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템의 에너지 성능 평가	57
4.1 사례 단지의 신재생에너지 적용의 목표 및 범위 설정.....	57
4.2 사례 단지의 현황 분석.....	57
4.2.1 단지의 개요.....	57
4.2.2 신재생에너지 시스템 이용을 위한 현황 분석.....	60
4.3 신재생에너지 시스템의 기본 계획 및 설계.....	81
4.3.1 BIPV 시스템.....	81

4.3.2 설비형 태양열시스템.....	86
4.3.3 지열시스템.....	90
4.3.4 신재생에너지 시스템 종합 적용 계획.....	92
4.4 신재생에너지 시스템의 종류에 따른 성능 분석.....	93
4.4.1 시뮬레이션 프로그램의 개요.....	93
4.4.2 태양광시스템.....	95
4.4.3 태양열시스템.....	100
4.4.4 지열시스템.....	102
4.5 소결.....	105
제 5 장 결 론.....	107
참 고 문 헌.....	109
국 문 초 록.....	112
ABSTRACT.....	115

<표 차례>

<표 2.1> PV 종류에 따른 변환효율.....	10
<표 2.2> PV 시스템의 구성 요소.....	15
<표 2.3> PV 모듈의 벽면 적용 기법의 분류와 특징.....	20
<표 2.4> PV 모듈의 지붕 적용 기법의 분류와 특징.....	21
<표 2.5> 태양열시스템의 분류.....	27
<표 3.1> 건축 설계 요소와 태양광 및 태양열시스템 설계 요소와의 관계.....	42
<표 3.2> 태양광시스템 설계를 위한 건축적 고려사항.....	45
<표 3.3> PV 셀에 생기는 음영과 모듈의 발전 성능과의 관계.....	48
<표 3.4> 온수부하 분포에 따른 경제적인 축열조 크기.....	52
<표 4.1> 대상 단지 설계 개요.....	58
<표 4.2> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량.....	61
<표 4.3> 대상 단지의 음영 분석.....	63
<표 4.4> 난방 시간 및 월간 난방 일수.....	66
<표 4.5> 건물 용도별 난방 면적율.....	67
<표 4.6> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 난방부하.....	67
<표 4.7> 공동주택 단위 세대 면적별 난방부하.....	68
<표 4.8> 종교시설 및 교육시설의 난방부하.....	68
<표 4.9> 근린생활시설의 난방부하.....	69
<표 4.10> 급탕 시간 및 월간 급탕 일수.....	70
<표 4.11> 월별 급탕 부하율.....	70
<표 4.12> 시간대별 급탕 사용율.....	71
<표 4.13> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 급탕부하.....	71
<표 4.14> 공동주택 단위 세대 면적별 급탕부하.....	72
<표 4.15> 종교시설 및 교육시설의 급탕부하.....	73
<표 4.16> 근린생활시설의 급탕부하.....	73
<표 4.17> 건축물 용도별 표준 부하 밀도.....	75
<표 4.18> 공동주택의 가산부하.....	75
<표 4.19> 건축물 용도별 수용율 기준.....	75
<표 4.20> 공동주택 단위 세대 면적별 전력부하.....	76
<표 4.21> 종교시설 및 교육시설의 전력부하.....	76
<표 4.22> 근린생활시설의 전력부하.....	77
<표 4.23> 냉방 시간 및 월간 냉방 일수.....	78

<표 4.24> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 냉방부하.....	79
<표 4.25> 근린생활시설의 냉방부하.....	80
<표 4.26> 선정된 태양광시스템의 사양.....	82
<표 4.27> 대상 단지 내 PV 설치 면적.....	85
<표 4.28> 선정된 태양열시스템의 사양.....	87
<표 4.29> 대상 단지 내 집열기 설치 면적.....	89
<표 4.30> 선정된 지열시스템의 사양.....	91
<표 4.31> RETScreen의 입력 모듈.....	94
<표 4.32> BIPV를 설치했을 시의 에너지 생산량 비교.....	99
<표 4.33> 태양열시스템 적용 시 에너지 생산량 비교.....	102
<표 4.34> 지열시스템 적용 시 에너지 생산량 비교.....	104

<그림 차례>

(그림 1.1) 연구의 흐름도.....	4
(그림 2.1) 태양전지 셀의 직렬연결과 병렬연결.....	6
(그림 2.2) 태양전지의 구성.....	6
(그림 2.3) p-n 접합과 전자의 이동.....	7
(그림 2.4) 태양전지의 단면.....	8
(그림 2.5) 태양전지의 종류.....	8
(그림 2.6) 독립형 태양광 발전 시스템.....	11
(그림 2.7) 계통 연계형 태양광 발전 시스템.....	12
(그림 2.8) 주택용 태양광 발전 시스템.....	13
(그림 2.9) 공공·상업용 태양광 발전 시스템.....	13
(그림 2.10) PV 모듈의 독립형 설치 방식.....	17
(그림 2.11) PV 모듈의 부착형 설치 방식.....	17
(그림 2.12) PV 모듈의 부착형 설치 방식.....	18
(그림 2.13) PV 모듈의 차양 장치형 설치 방식.....	18
(그림 2.14) 니유 슬로턴의 태양광시스템 적용.....	23
(그림 2.15) 니유 슬로턴 건물 입면 PV 적용.....	24
(그림 2.16) 니유 슬로턴 건물 지붕 PV 적용.....	25
(그림 2.17) 태양열 냉난방 시스템 계통도.....	27
(그림 2.18) 태양열 급탕 시스템 계통도.....	28
(그림 2.19) 평판형 집열기의 구조.....	29
(그림 2.20) 브람펠트 단지 내 지붕에 설치된 집열판.....	31
(그림 2.21) 과천 태양열 주택단지 배치도.....	33
(그림 2.22) 수직 U자 관 지중열교환기 파이프의 설치 개략도.....	36
(그림 2.23) 지열 히트펌프 시스템의 냉방 사이클.....	37
(그림 2.24) 지열 히트펌프 시스템의 난방 사이클.....	38
(그림 2.25) 수직형 시스템.....	40
(그림 2.26) 수평형 시스템.....	40
(그림 2.27) 지하수 열원 히트펌프 시스템.....	41
(그림 3.1) 경사각과 방위각.....	46
(그림 3.2) PV 모듈 설치 각도에 따른 발전 성능.....	47
(그림 3.3) PV 셀의 음영과 모듈의 발전 성능과의 관계.....	48
(그림 3.4) PV 모듈의 온도와 발전 성능과의 관계.....	50

(그림 3.5) 신재생에너지 시스템 적용을 위한 계획 프로세스	56
(그림 4.1) 대상 단지의 계획안	59
(그림 4.2) 대상 단지의 조감도	59
(그림 4.3) 대상 단지의 레벨 현황	60
(그림 4.4) 인천 지역의 연간 일조시간	61
(그림 4.5) 서울 지역의 연간 1일 수평면 일사량	62
(그림 4.6) 대상 단지의 동 구분	63
(그림 4.7) 공동주택단지 내의 난방부하	69
(그림 4.8) 월별 급탕 사용 패턴	71
(그림 4.9) 공동주택 단위 세대 면적 별 급탕부하	74
(그림 4.10) 공동주택단지 내의 전력부하	77
(그림 4.11) 근린생활시설	79
(그림 4.12) 근린생활시설의 냉방부하	80
(그림 4.13) BIPV 설치 예시(203동)	83
(그림 4.14) BIPV 일반적인 설치 예시	84
(그림 4.15) 차양 장치에 PV 모듈 추가	84
(그림 4.16) 창에 반투명 모듈 추가	84
(그림 4.17) 옥상의 태양광시스템 설치	84
(그림 4.18) 태양열시스템을 옥상에 적용한 경우의 모델	89
(그림 4.19) 신재생에너지 시스템 종합계획	92
(그림 4.20) PVSYST 4.33의 초기 화면	93
(그림 4.21) 지역 및 기후 설정	96
(그림 4.22) 경사각 및 방위각 설정	96
(그림 4.23) 대상 단지의 모델링	97
(그림 4.24) 월별 전력부하 입력	97
(그림 4.25) PV 모듈과 인버터의 종류 및 면적 산정	98
(그림 4.26) PVSYST 4.33의 결과	98
(그림 4.27) 단지 내에 BIPV 적용 시 발전량과 부하의 비교	100
(그림 4.28) 신재생에너지 시스템 및 지역 설정	101
(그림 4.29) 집열기, 축열조 및 열교환기의 선정	101
(그림 4.30) 냉난방시스템의 설정	103
(그림 4.31) 냉난방부하 그래프	103
(그림 4.32) 시스템 선정	104

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 인류는 주로 석유, 석탄, 원자력, 천연가스 등에서 대부분의 에너지를 얻고 있다. 산업 발달에 따른 화석 에너지의 무분별한 이용으로 머지않은 미래에는 이러한 에너지원들이 고갈될 것으로 예측되고 있으며, 이러한 화석·원자력 에너지원은 심각한 대기오염과 지구온난화 등의 환경 문제의 주범으로 지목받고 있는 실정이다.

이에 세계국가들은 1997년 교토의정서(Kyoto Protocol) 등의 기후변화협약을 통하여 온실가스 배출량 감축 목표를 규정하였고, 국제 배출권 거래(International Emission Trading), 공동이행(Joint Implementation), 청정개발체제(Clean Development Mechanism) 등을 통해 의무이행을 하도록 규제하기 시작하였으며, 우리나라에서도 2003년 12월에 제2차 '신재생에너지기술개발 및 이용·보급 기본계획(2003~2012)'을 통해 1차 에너지 대비 신재생에너지의 공급 비중을 2011년 5% 목표 달성을 위한 세부 추진 계획을 수립하였으며, 신재생에너지 공공 의무화, 발전차액 지원 및 전문기업 제도 도입 등을 통하여 신재생에너지의 보급 및 지원을 하고 있는 실정이다.¹⁾

특히, 우리나라는 총 소비 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있어, 신재생 에너지를 통한 에너지 자립도 향상이 필요하다. 또한 신재생에너지를 이용함으로써 이산화탄소 절감이나 자원 절약 및 환경 보존의 목표를 달성할 수 있다.

그러나 아직 신재생에너지와 관련하여 일부 제한된 분야를 제외하고는 경제성 뿐만 아니라 기술적 적용 문제 등으로 인하여 만족할 만한 결과를 얻지 못하고 있다. 그러므로 우리나라의 기후조건과 제반 여건을 충분히 고려하여 신재생에너지의 이용 및 시스템의 적용에 있어서 최대의 에너지 효율을 얻을 수 있는 시스템 구성 및 적용 분야의 유효성의 검토가 요구된다.

또한 단위 건물 차원에서 신재생에너지의 기술 요소를 적용한 설계 사례 및 연구는 활발히 진행되었지만, 도시나 단지 차원에서 종합적으로 고려하여 신재생에너지 시스템을 적용한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 기존 공동주택단지를 대상으로 신재생에너지 시스템을 복합 적용할 경우의 필수 고려 요소들을 도출한 후 대상지를 선정하여 신

1) 이강후, "새로운 성장동력 대체에너지", 북스힐, 2007.12, p.77

재생에너지를 이용하기 위한 프로세스에 따라 신재생에너지 시스템을 적용해 봄으로써, 신재생에너지 시스템을 건축설계요소로서 통합해가는 과정과, 적용 후의 개선된 점을 정량적인 에너지 성능 평가를 통해 살펴보았다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 이론 고찰 및 기존의 연구 문헌을 통하여 국내·외의 신재생에너지 시스템을 적용한 공동주택단지의 특징 및 계획 요소와 사례를 조사하고 이를 토대로 기존 공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용하는 프로세스를 정리하였다. 또한, 그 과정에 따라 국내 재개발단지 중 한 개 단지를 선정하여 사례 연구를 실시하였으며, 각 단계별 내용과 방법은 다음과 같다.

(1) 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템에 관한 이론 고찰

- 신재생에너지를 적용한 공동주택단지에 관한 기존 문헌 및 자료를 고찰함으로써 국내 에너지 문제에 대한 목표와 이에 따른 신재생에너지 시스템의 적용 필요성을 검토하였다.

- 신재생에너지 중 공동주택단지 내에 적용 가능한 BIPV, 태양열, 지열을 각각의 유형 및 특징에 관한 이론을 고찰하여 건축 계획 요소로서의 특성을 살펴보았다.

(2) 공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용한 사례 조사

- 공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용한 사례를 조사·분석하여 설계 기법과 적용 기술 요소를 살펴보았다.

(3) 공동주택단지 내에 신재생에너지 시스템 적용 프로세스 정리

- 이론 고찰 및 사례 조사 분석 결과를 토대로 신재생에너지 시스템을 적용하기 위해 필요한 고려 요소들을 도출하였다.

- 신재생에너지 시스템을 기존 공동주택단지에 적용하기 위한 프로세스를 정리하였다.

(4) 공동주택단지 내 신재생에너지 시스템 적용 시 효과 분석

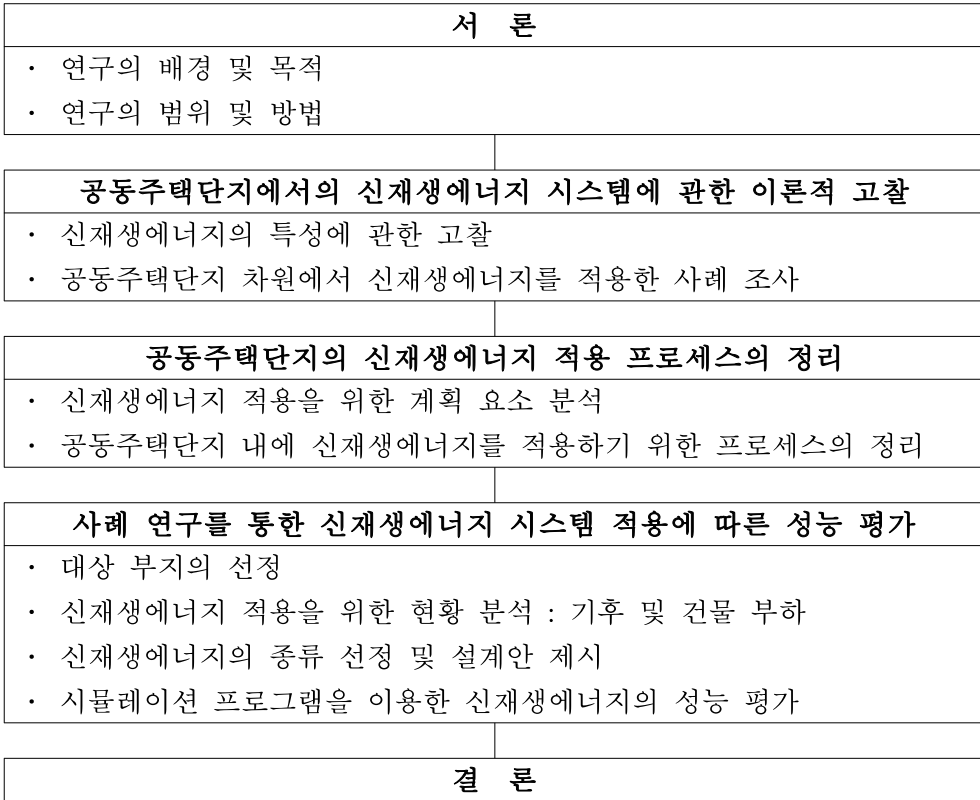
- 본 연구에서 정리한 적용 프로세스를 바탕으로 신재생에너지 시스템을 적용하기 위하여 한 개 단지를 선정하였다.

- 대상 단지의 건축적 특성을 정리하고, 신재생에너지 시스템을 적용하기 위한 기후 조건과 건물의 부하 특성을 분석하였다.

- 신재생에너지 시스템의 종류, 구성방식, 적용 기법에 따라 대상 단지에 적합한 시스템을 선정하고 설치 규모 및 위치, 형태를 계획하여 기존 공동주택 단지에 신재생에너지 시스템의 적용 방안을 제시하였다.

- 대상지에 적용한 신재생에너지 시스템의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 에너지 성능을 검토하여 실용성과 적용 가능성을 평가하였다.

연구의 흐름은 (그림 1.1)과 같다.



(그림 1.1) 연구의 흐름도

제 2 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 이론적 고찰

신재생에너지에는 연료전지, 석탄 액화·가스에너지, 수소에너지 등의 신에너지와 태양열에너지, 태양광에너지, 바이오에너지, 풍력에너지, 소수력에너지, 해양에너지, 폐기물에너지, 지열에너지 등의 재생에너지가 있다.

본 논문에서는 공동주택단지에 적용이 용이한 태양광, 태양열, 지열시스템에 관한 이론 고찰을 하고자 한다.

2.1 태양광시스템

2.1.1 태양광(PV, Photovoltaic)시스템

(1) 태양광시스템의 개요

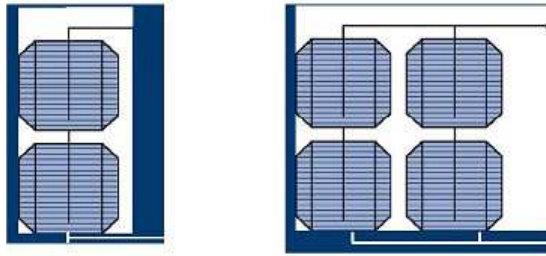
태양광시스템이란 태양 복사 에너지를 이용한 발전 방법으로 실리콘 등을 사용해서 태양 복사 에너지를 직접 전기에너지로 변환하여 이용하는 것으로 태양전지와 직류 전력을 교류 전력으로 변환하는 전력 변환 및 제어기술이라 정의할 수 있다.²⁾

(2) 태양전지

① 태양전지의 개요

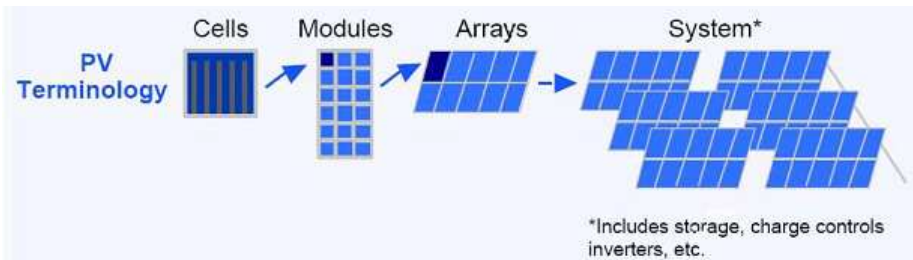
태양전지는 10cm×10cm(12.5cm×12.5cm, 15cm×15cm 등) 크기의 태양전지 셀(Cell)이 전력 생산의 최소 단위이다. 태양전지를 직렬로 연결하면 전압(V)이 비례적으로 증가하고 병렬로 연결하면 전류(I)가 증가된다.

2) G. N. Tiwari, "Solar Energy", Alpha Science, 2008, p.435



(그림 2.1) 태양전지 셀의 직렬연결과 병렬연결

예를 들어 변환 효율 16%, 크기 15cm×15cm의 다결정 실리콘 태양전지 셀로부터 약 3.6W의 출력을 얻을 수 있는데 이때 동작 전압(V)은 0.5V, 전류(I)는 7.2A의 값을 나타낸다. 그러나 태양전지를 발전용으로 사용하는 경우 동작 전압이 0.5V이면 출력이 지나치게 낮게 되므로 실리콘 태양전지 36매를 직렬로 접속하여 동작 전압을 18V까지 높여 발전하는데 이것을 태양전지 모듈(Module)이라고 부른다. 또한, 실용적인 출력을 얻기 위해 태양전지 모듈을 필요 매수를 직렬 접속한 것을 그 위에 병렬 접속으로 조합하여 필요한 발전 전력을 얻어내도록 하는 것을 태양전지 어레이(Array)라고 부른다.³⁾⁴⁾ 이러한 PV의 특성 때문에 전력 부하의 크기에 상관없이 설계가 가능하다.



(그림 2.2) 태양전지의 구성

② 태양전지의 원리

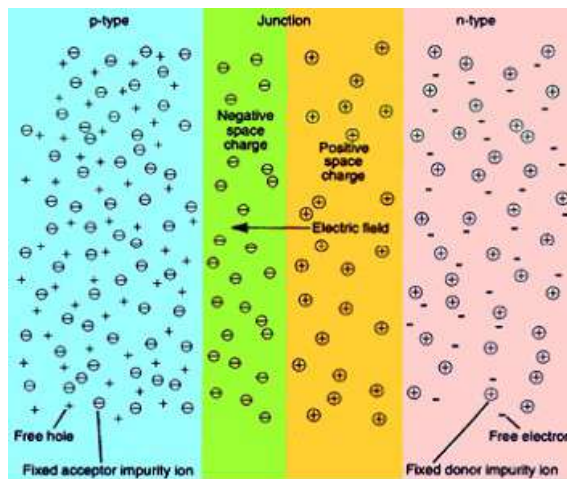
태양전지는 실리콘으로 만들어지는 반도체 소자이며, 표면부터 전극, 반사 방지막, n형 반도체, p형 반도체, 전극 순으로 구성되어 있다. 여기서 p형과

3) Otto Van Geet PE, "Sustainable Low Energy Design & Renewable Energy Opportunities", NREL

4) Nancy Carlisle, "Innovation in PV Technology", NREL, 2001.6

n형 반도체가 접합하고 있는데 이를 p-n접합이라고 한다. 태양전지에 빛이 입사하면 태양전지에 흡수되며, 흡수된 태양 복사 에너지에 의해 반도체 내에서 음전하를 띠는 전자(電子, electron)와 양전하를 띠는 정공(正孔, hole)을 발생한다. 전자는 n형 반도체 쪽으로, 정공은 p형 반도체 쪽으로 끌려당겨져 각각 양쪽의 전극부에 모이게 되어 전위가 발생한다. 이 때 양쪽의 전극을 전선으로 연결하면 전류가 흐르게 된다.⁵⁾ 이것을 광전 효과(Photoelectric Effect)라고 한다.

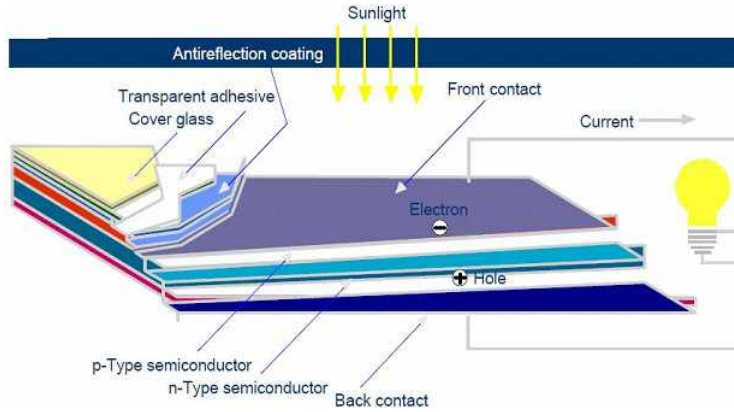
다음 (그림 2.3), (그림 2.4)⁶⁾는 태양전지의 단면과 p-n 접합에 의한 전자의 이동을 나타낸 것이다.



(그림 2.3) p-n 접합과 전자의 이동

5) Godfrey Boyle, "Renewable Energy(second edition)", Oxford University Press, 2004.6, pp.71~73

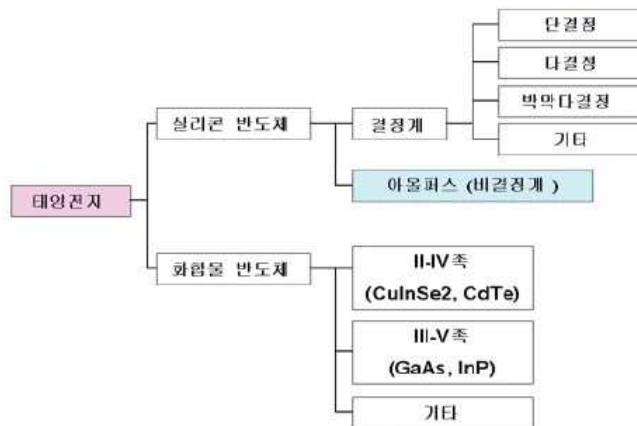
6) Nancy Carlisle, "Innovation in PV Technology", NREL, 2001.6



(그림 2.4) 태양전지의 단면

③ 태양전지의 종류

태양전지의 종류는 재료, 용도, 구조 등에 따라 다양한 방법으로 구분될 수 있다. (그림 2.5)는 태양전지의 종류를 나타낸다. 태양전지의 종류에는 실리콘계, 화합물 반도체 등 3가지로 구분되며, 그 중에서 일반적으로 널리 사용되고 있는 것이 단결정 실리콘(s-crystalline silicon), 다결정(poly-crystalline silicon), 비정질(amorphous silicon)이며, 곧 박막 다결정 실리콘(pc silicon)이 시장에 나타날 것으로 예측되고 있다.



(그림 2.5) 태양전지의 종류

7) 유권중, 소정훈, “태양광 발전기술의 현황과 전망“, 설비|공조 냉동 위생(한국설비기술 협회지), v.19 n.6, 2002.6, p.54

실리콘 결정계 태양전지는 변환효율이 높기 때문에 현재 가장 실용화가 앞서고 있다. 현재 태양광 시장의 주류를 이루고 있는 단결정 및 다결정실리콘은 전지의 효율 및 신뢰성이 높은 장점을 가진 반면, 벌크 상태의 원재료로부터 태양전지를 만들기 때문에 재료비가 비싸고, 공정 자체가 복잡하고 단속적이어서 비용 절감 측면에 한계가 있다. 이러한 문제점의 해결방안으로 기판의 두께를 혁신적으로 줄이는 기술, 또는 유리와 같이 값싼 기판 위에 박막 형태의 태양전지를 증착시키는 기술이 주목을 받고 있다. 기존의 박막 제조 공정을 이용할 경우 보다 값싼 방법으로 태양전지의 대량 생산이 가능하기 때문이다. 그러나 제조공정이 복잡하고 다량의 에너지가 필요하기 때문에 비용이 높은 것이 결점이다.⁸⁾

비정질 태양전지는 기존 결정질 실리콘 태양전지의 두께가 200~300 μm 인데 반해, 약 1/100에 해당하는 2~3 μm 두께만으로도 태양전지의 제조가 가능하고 제조 에너지도 작기 때문에 저비용 태양전지로서 실용화되고 있다. 또한 박막에 따른 원재료 소비량이 적기 때문에 보다 환경 친화적이라 할 수 있다. 그러나 변환효율이 낮고, 특히 초기에 빛에 노출될 경우 효율이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 화합물 반도체 태양전지에는 II-IV족, III-V족 등 많은 종류가 있으며 실험실 레벨에서는 GaAs 계로 30%를 넘는 변환효율이 실현되고 있다.

이들 태양전지 외에 유기 반도체 태양전지, 습식 태양전지 등이 있다.

④ 태양전지의 변환 효율(Energy Conversion Efficiency)

태양전지의 효율은 입사되는 태양복사에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기 출력에너지의 비를 퍼센트로 표시한 것으로, 산업자원부에서는 태양전지의 최대 출력(P_{max})을 발전하는 면적(태양전지 면적 ; A)과 규정된 시험 조건(표준 시험 조건, STC)⁹⁾¹⁰⁾에서 측정된 입사 조사 강도(incidence irradiance, E)의 곱으로 나눈 값을 백분율로 나타낸 것이라고 정의하고 있다.¹¹⁾

1973년 태양전지의 변환효율은 단결정 실리콘 태양전지가 13% 정도였다.

8) 윤종호, “건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계 및 응용 기술”, 설비저널(대한설비공학회지), v.35 n.11, 2006.11, p.30

9) 산업자원부, “태양광발전 용어집”, 2007, p.14

10) 모듈 표면 온도 25 $^{\circ}\text{C}$, AM(대기 질량 정수, Air Mass) 1.5, 조사 강도 1,000W/ m^2

11) 산업자원부, op. cit., 2007, p.8

하지만 최근에는 단결정 실리콘 태양전지는 20%이고, 다결정 실리콘 태양전지는 15%를 넘을 정도로 급속하게 향상되었다. 그 종류는 다음 <표 2.1>¹²⁾과 같다.

<표 2.1> PV 종류에 따른 변환효율

종 류	재 료	이론상 변환효율	실제 효율	
실리콘 태양전지	결정계	단결정 Si	15~24%	10~14%
		다결정 Si	10~17%	9~12%
	아몰포스계	아몰포스 Si	8~13%	6~9%
		아몰포스 Sic		
		아몰포스 SiGe		
화합물반도체 태양전지	이원계	GaAs, Inp, Cds, Cdte	18~30%(GaAs) 10~12%(기타)	
	삼원계	CuInSe ₂	10~12%	
유기 반도체 태양전지	메로시아닌	1% 이하		

12) 김진희, "BIPV 시스템의 최적화 기법에 관한 연구", 공주대학교 석사학위논문, 2004, p.12

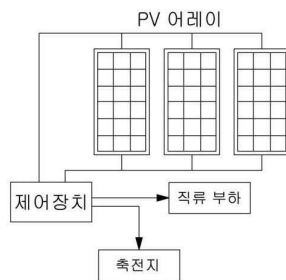
(3) 태양광시스템의 구분

시스템의 구성방식은 도서 및 산간벽지 등 특수 전원용으로 사용하는 독립형 태양광시스템과 상용전력계통과 연계하여 사용하는 계통연계형 태양광시스템으로 구분된다.

① 독립형 시스템

독립형 시스템은 낮에 태양전지로 발전한 전력을 교류 또는 직류로 변환하여 부하에 공급하는 시스템과 잉여전력을 배터리에 충전하고 야간이나 우천 시에도 전력을 공급하는 시스템을 말하며 상용전력에 의지하지 않고 독립적으로 전기 에너지를 사용할 수 있다. 전력계통으로부터 전력을 공급받지 못하는 낙도나 산간벽지, 무인등대, 무인중계소, 인공위성 등에 많이 이용된다.

(그림 2.6)은 독립형 시스템의 다이어그램을 나타내고 있다.



(그림 2.6) 독립형 태양광 발전 시스템

독립형은 충전설비를 가지고 있고 계통선과 분리되어 있기 때문에 시스템에서 발생된 무효전력이나 유효전력 그리고 고조파는 전력계통선에 영향을 끼치지 않는다. 그러나 충전설비가 고가이고 넓은 설치공간을 필요로 하며 충전지의 액 보충, 유출, 폭발과 같은 문제점들이 나타날 수 있다.

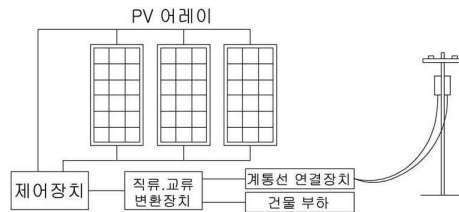
② 계통 연계형 시스템

태양광발전은 일사량에 의존하고 야간이나 우천 시에는 발전이 되지 않으며, 일사량 피크와 전력 수요 피크가 일치하지 않기 때문에 발생 전력을 저장하거나 계통선 전력망과 연계시킬 필요가 있다.

계통 연계형 시스템은 PV 모듈과 인버터를 직접 연결함으로써 PV 모듈로부터 발생하는 직류전원과 계통선의 교류전원을 균형 있게 유지하여 AC 부하에 전력을 공급하는 시스템이다. 일반적으로 모듈, 모듈 장치용 틀, 직류를

교류로 변경하는 인버터와 제어장치로 구성되어 있다. 시스템 출력이 부하에 부족하거나 태양전지가 발전을 하지 않을 때에는 상용전력 계통에서부터 전기를 사며 잉여 전력이 발생하면 전력회사에 송전하여 판매하는 것이 가능하다. 이 시스템은 주택용이나 공장용 전원 등으로 많이 이용된다.

(그림 2.7)은 계통 연계형 시스템의 다이어그램을 나타내고 있다.

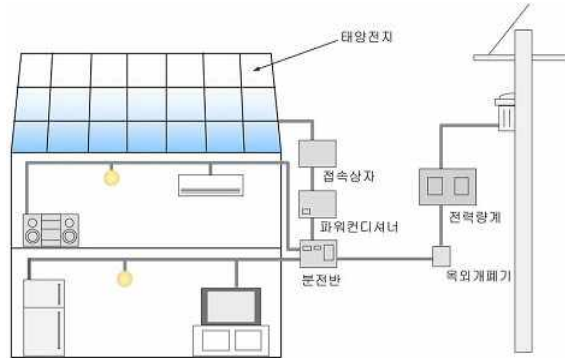


(그림 2.7) 계통 연계형 태양광 발전 시스템

또한 계통 연계형 시스템은 유지 및 보수가 간단하고, 독립형 시스템과는 달리 고가의 축전설비가 필요 없으며, 주택용 태양광 발전 시스템으로 사용하기 위한 가장 이상적인 시스템 형태라 할 수 있다. 그러나 계통 연계형 시스템에서 PV 모듈의 발전전력은 인버터를 지나 계통선과 직접 연결되어 있기 때문에 인버터 발생고조파와 유효전력과 무효전력의 동요는 직접 전력계통선에 영향을 미치게 된다.

① 주택용 시스템

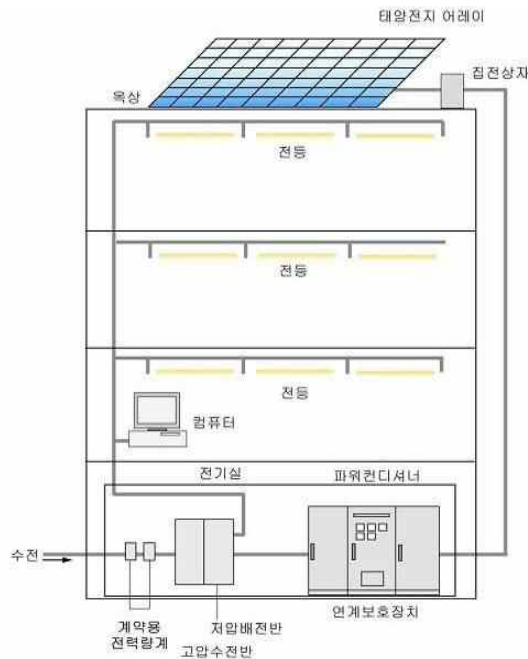
주택용 시스템은 PV 모듈에 의해 발전한 직류를 인버터에 의해 교류로 변환하여 여러 가지 가전제품에 전기를 공급한다. 그리고 시스템이 전력회사의 계통선과 연결되어 있기 때문에 발전 전력이 소비 전력을 오버했을 경우에는 전력회사로 전기를 역송전할 수 있으며 전기의 교환은 자동적으로 이루어진다.



(그림 2.8) 주택용 태양광 발전 시스템

② 공공·상업용 시스템

정전 시에 연계를 자립으로 대체하여 특정 부하에 공급하는 축전지 전용 시스템을 방재형 시스템이라고 부른다.



(그림 2.9) 공공·상업용 태양광 발전 시스템

(4) PV 시스템의 구성요소

PV 시스템의 주요 구성 기본 요소는 태양전지 어레이, 직류를 교류로 바꾸는 변환장치(인버터), 전기를 사용하지 않을 때 발생된 전기를 저장하기 위한 축전지와 계통연계 보호 장치, 연결 장치가 부수적으로 설치되어야 한다.

① 인버터(Inverter)

일반적으로 가정, 사무소, 공장 등에서는 교류 전원을 이용하고 있으나 태양전지 혹은 축전지로부터의 출력은 직류이다. 그 때문에, 태양전지로부터 발생한 전력이나 축전지로부터의 전력을 이용하기 위해서는 직류로부터 교류로 변환할 필요가 있다. 이것을 실시하는 장치가 인버터이다. 인버터는 직류를 교류로 변환할 뿐만 아니라, 주파수, 전압, 전류, 위상, 유효 및 무효전력, 동기, 출력 품질(전압 변동, 고조파) 등을 제어하고 있다.

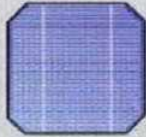
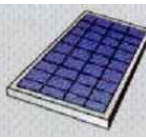





② 계통 연계 보호 장치

계통 연계 보호 장치는 PV 시스템의 계통 측이나 인버터의 이상을 정확하게 검출하여 인버터를 정지시키고, 동시에 계통선과의 연계를 신속하게 차단하여 계통선 측의 안전을 확보하는 것을 목적으로 하고 있다.

③ 축전지(Storage Battery)

축전지는 전력 저장을 실시하여 일사량이 적을 때나 야간의 발전하지 않는 시간대에 요구하는 전력 부하량을 보충하도록 할 수 있다. 그리고, 축전지를 조합하는 것으로, 방재형 시스템에 활용하고 있는 것 같은 재해 시의 백업 전력의 공급이나 그 외 발전 전력 급변 시의 완충 및 피크 전력의 억제 등에 적용 범위를 확대할 수 있다.

<표 2.2> PV 시스템의 구성 요소

명 칭		형 태	기 능
태양 전지	셀 (Cell)		- 태양전지의 기능을 가지는 최소 단위 - 태양광에 노출되면 전기를 발생하는 얇은 정방형의 반도체 - 10cm×10cm, 12.5cm×12.5cm, 15cm×15cm 등
	모듈 (Module)		- 태양전지 셀을 여러 장 모아서 규격화시키고 소정의 전압, 출력을 얻을 수 있도록 한 것 - 공사 시 취급하는 최소 단위
	어레이 (Array)		- 한 개 혹은 여러 개의 모듈을 특정 전력량에 맞게 전기적 배선을 연결한 형태
인버터 (Inverter)			- 태양전지 모듈에서 발생한 직류 전기를 가정용 교류 전기로 변환하는 장치 - 태양광시스템에서 가격 면에서 상당한 비중을 차지
축전지 제어기			- 축전지에 일정한 전압이 흘러가도록 조절하는 장치
축전지 (Storage Battery)			- 직류 전기 에너지를 저장하는 장치
와이어 (Wiring)			- 태양광시스템을 연결하는 배선

2.1.2 BIPV(Building Integrated Photovoltaic) 시스템

(1) BIPV 시스템의 개요

BIPV 시스템은 PV 시스템을 기존의 지지대와 별도의 가대 등을 세워서 기존 건물에 부착하는 방식에서 건물 설계 단계부터 고려하여 적용시킴으로써 일체화시킨다는 의미로, 경제성은 물론 부가가치를 높여 보다 효율적으로 PV 시스템을 보급·활성화시키려는 개념이다. 이러한 BIPV 시스템은 전기를 생산하는 동시에 지붕이나 벽면, 차양, 채광창 등과 같은 건물 외피의 기능을 부여함으로써 고가의 외장 마감재에 소요되는 비용과 PV 시스템의 비용이 비슷할 때에는 경제성까지 확보할 수 있다.¹³⁾

초기의 PV 시스템은 건물 요소의 기능보다는 전력 생산이라는 에너지 생산 측면에 초점이 맞추어져 있었다.¹⁴⁾ 그러나 현재는 지붕이나 외피에 부착하는 방식으로 발전하게 되었다. PV 시스템을 설치할 별도의 부지가 필요 없고 부지의 유지·관리 비용, 인허가 절차 등이 생략될 수 있고, PV 모듈을 기존의 건물 재료로 대체하여 재료비용 및 건설비용의 절감 효과를 가져다주며 건물의 미적인 가치를 높여 부가가치를 올려주는 등 경제적 효과가 있다. 우리나라의 경우에는 최근 들어 건물 수명 20~30년 된 노후 건물이 많이 발생함에 따라 리모델링 건축 시장이 크게 확대되고 있는 점에서 BIPV 시스템의 잠재성을 높여주고 있다.¹⁵⁾

(2) BIPV의 유형

BIPV 시스템은 크게 건물에 일체화 정도에 따른 분류와 구성요소에 따른 분류로 나눌 수 있을 정도로 광범위하게 건물의 재료로 적용되고 있다.

13) 윤종호, “상업건물용 BIPV 모듈의 건축적 통합화 연구 최종 보고서”, 2004, p10

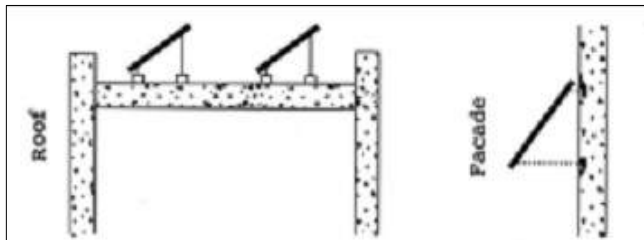
14) 김준태 외, “주택 지붕일체형 PV 모듈 및 PV Solar-Roof 개발에 관한 최종보고서”, pp.168~176

15) 윤종호, “건물통합형 태양광발전 시스템의 설계요소 및 접근방법”, 제1회 태양광발전 기술세미나, 태양광발전연구회(에너지관리공단), 2001, p.11

① 일체화 정도에 따른 분류¹⁶⁾

㉠ 독립형

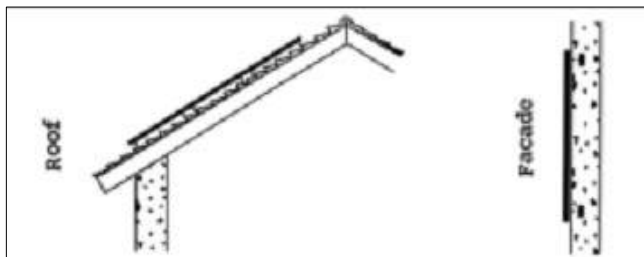
기존의 건물과 평평한 지붕 또는 약간의 경사가 있는 지붕에 쉽고 간단하게 적용할 수 있는 방법으로 건물 외피와는 별도로 새롭게 설치된 구조물에 부착되는 형태로써 PV 시스템은 최적의 방향과 경사각을 유지한 채 설치될 수 있으나 시각적으로 좋지 않은 효과를 가질 수 있다는 단점을 가지고 있다. (그림 2.10)은 독립형 설치 방식을 나타낸 것이다.



(그림 2.10) PV 모듈의 독립형 설치 방식

㉡ 부착형

PV 모듈을 지붕이나 벽체와 같은 건물의 외피와 평행하게 덧붙이는 형식으로 설치가 비교적 간단하고 쉽다. PV 시스템의 설치가 건물에 주는 시각적 효과는 앞의 독립적인 설치 방법보다 좋으나 설치에 따른 건물 외피 부재의 절약은 마찬가지로 이루어지지 않는 단점이 있다. (그림 2.11)은 지붕에 부착형으로 적용된 BIPV 시스템을 나타낸 것이다.

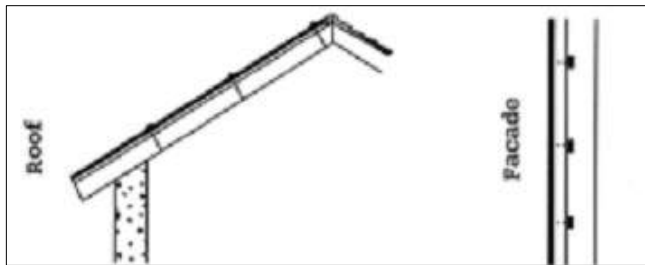


(그림 2.11) PV 모듈의 부착형 설치 방식

16) A. Mitja et al., "Integration of Solar Components in Buildings", The European Commission, 1998, pp.14~15

㉔ 일체형

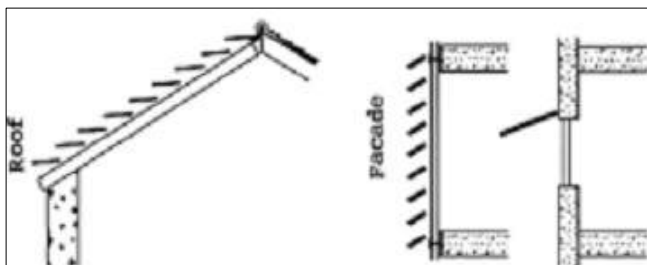
일체형은 PV 모듈을 건물의 지붕과 벽의 외장 마감 재료로 사용하는 것으로 건물 외피 재료의 대체라는 건축적 기능성을 갖는다. PV 모듈을 이용하여 건물 재료를 대체하면 재료비용 및 건설비용을 절감하는 부수적인 효과를 갖게 한다. 이 방식은 건물의 가장 바깥층을 PV 모듈이 이루는 형태로 주로 새로운 건물이나 건물 외피의 교체를 포함하는 건물 개보수의 경우에도 적용할 수 있다. (그림 2.12)는 BIPV 시스템의 일체형 설치 방식을 나타낸 것이다.



(그림 2.12) PV 모듈의 부착형 설치 방식

㉕ 차양 장치형

PV 모듈을 건물의 차양 장치로 사용하는 방식은 직사광선을 차단하고 동시에 간접광인 산란광을 실내로 유입하는 장점이 있다. 이 방식은 전기 생산과 자연채광이라는 두 가지 효과를 얻을 수 있는 시스템이다. (그림 2.13)¹⁷⁾은 차양 장치형 설치 방식을 나타낸 것이다.



(그림 2.13) PV 모듈의 차양 장치형 설치 방식

17) Ibid., p.12

② 적용 부위에 따른 분류

㉠ 벽면 등 건물 입면 요소로서의 적용

건물 입면 요소로서의 대표적인 적용방법으로 커튼월 공법이 있다. 이는 최근 유리 소재를 이용한 커튼월 공법을 많이 사용하고 있는 상업용 건물에서 유용하게 적용될 수 있다.

투명(또는 반투명) 모듈을 이용하면, 자연채광을 실내로 유입하는 효과까지 얻을 수 있다.¹⁸⁾ 그러나 이 공법을 적용하기 위해서는 다른 환경적인 요인들에 대한 고려와, 설치 시공 시 좀 더 세밀하고 정밀한 기술 등이 수반되어야 한다.


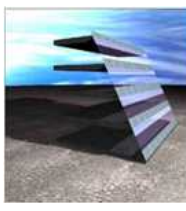
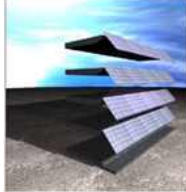
그 이외에도 도장, 타일, 벽돌, 기타 마감 재료를 대신하여 벽 부분에 PV 시스템을 적용할 수 있다.

다음 <표 2.3>¹⁹⁾은 PV 모듈의 벽면 적용 기법의 분류와 특징을 나타낸 것이다.

18) 오명택, “통풍을 고려한 BIPV 시스템의 성능 평가에 관한 실험적 연구”, 공주대 석사학위논문, 2005.2, p.14

19) 차진영, “환경친화적 리모델링 시 태양 복사 에너지 시스템의 적용에 관한 연구”, 중앙대 석사학위논문, 2005.2, p.28

<표 2.3> PV 모듈의 벽면 적용 기법의 분류와 특징

부착방식	개념도	특징
수직형		태양광을 수직으로 받는 방식으로 경사지게 설치하는 방법보다는 효율이 떨어지나, 수직벽을 이용하기 때문에 건물의 부지를 최대한도로 이용할 수 있고, 내부 공간도 기존 건물과 같이 효율적으로 이용할 수 있는 방식이다.
경사형		건물의 외벽에 대해 태양광을 효율적으로 받기 위하여 남측 건물 외벽을 약 70° 정도 경사지게 설치하는 방식으로써 태양광발전 효과는 양호하지만, 건물 내부 공간을 비효율적으로 사용하는 단점이 있다.
차양형		태양광 발전의 이용 효과를 최대로 하기 위하여 초기 설계 시 벽체를 태양전지로, 유리 및 구조물 등을 차양 장치로 설치하는 방식이다.

㉠ 지붕 등 건물 상부 외피 요소로서의 적용

일사 획득이 가장 용이한 적용기법으로, 그만큼 가장 많이 이용되는 방법이기도 하다. 특히, 단독주택 등의 주거용 건물이나 학교 등의 건물에 많이 이용되고 있다.

구체적인 적용 방법으로는, 현재 흔히 사용되고 있는 아스팔트 싱글이나 타일 타입의 마감 재료와 유사한 형태나 PV 모듈로 지붕에 통합하여 설치하는 방식이 주로 사용된다. 또한, 투명(또는 반투명) PV 모듈을 지붕에 일체화시킴으로써, 자연채광을 유입하거나 직사일광을 차단하는 효과를 얻을 수 있다.

다음 <표 2.4>²⁰⁾는 PV 모듈의 벽면 적용 기법의 분류와 특징을 나타낸 것이다.

20) Ibid., p.29

<표 2.4> PV 모듈의 지붕 적용 기법의 분류와 특징

부착방식	개념도	특징
PLAT형		<p>건물의 구조 및 재료에 관계없이 독립적으로 태양광 발전을 설치할 수 있는 방식으로, 새로운 건축물이나, 기존 건물에도 사용될 수 있는 장점을 가지고 있다. 신축 또는 개축 시 적용되는 방식으로 채광효과에 장점이 있다.</p>
경사형		<p>가장 일반적인 방식으로 PV를 경사지게 설치하기 때문에 최대 발전 효율을 나타낼 수 있으며, 건물 옥상에 덧대기 식으로 설치한다. 그림자로 인해 변환효율이 감소되는 경우가 있다.</p>
툽날형		<p>채광효과와 태양광 발전 효과를 동시에 고려한 일체식이다.</p>
굴곡형		<p>초기 설치비가 고가이고, 시간이 경과할수록 효율이 저하되는 단점이 있다.</p>

㉔ 채광 또는 차양 장치로서의 적용

우선 채광을 위한 요소로서 적용될 때는 셀 자체에 아주 미세한 구멍을 만들어 빛이 투과할 수 있는 모듈을 제작하여 사용하는 방법과, 셀 사이에 일정한 간격을 두어 모듈을 제작하는 방법이 사용된다. 또한, 투명(또는 반투명) PV 모듈을 사용함으로써 자연채광 효과를 얻을 수 있다. 최근 사무소 건물이나 공공건물 등 큰 규모의 건물에 유리 소재의 사용이 많아지고 있어 매우 유용하게 적용될 수 있는 기법이다. 그러나 이 방식은 전력 발전이라는 본래의 기능을 떨어뜨릴 수 있으므로 유리 및 태양전지, 전기 특성을 잘 고려하여 디자인해야 한다.

또한 PV는 과도한 직사일광의 유입을 막고 재실자로 하여금 불쾌감을 유발하는 현휘 등을 방지하기 위해 사용되는 차양 장치로 사용되기도 한다. 이로 인해 하절기의 일사량 차폐를 통한 열 성능 향상을 도모할 수 있다.

이와 같이 빛을 유입하거나 차단하는 기능 이외에도 이러한 요소들의 건물의 이미지를 향상시키는 디자인적인 요소로서의 역할도 수행함으로써, PV 설치비용의 감소까지 기대할 수 있다.

2.1.3 공동주택단지에서의 태양광시스템 적용 사례

(1) 미국 새크라멘토(Sacramento)

① 개요 및 목표

국제 에너지 기구(IEA, International Energy Agency)의 '솔라시티' 프로그램에 참가하고 있는 캘리포니아의 주도(州都) 새크라멘토는 지붕 위의 발전소라고 하는 태양전지가 세계에서 가장 많이 보급된 도시이다.

스머드(SMUD, Sacramento Municipal Utility District)라고 불리는 새크라멘토시 전력공사에서 밝히는 계획은 앞으로 10년 안에 새크라멘토 일대 전력 공급의 50%를 태양 복사 에너지를 포함, 환경 친화적 신재생에너지로 공급하는 것이라고 한다.

② 적용 요소 및 효과

1985년 원자력발전소 폐쇄를 계기로 스머드는 태양 복사 에너지 보급 운동을 본격적으로 착수하였다. 1993년 신재생에너지, 특히 태양 복사 에너지의 조직적이고 지속적인 보급을 목표로 한 장기 전략이 수립되었다. 궁극적인 목표는 태양 복사 에너지의 상업화였다.

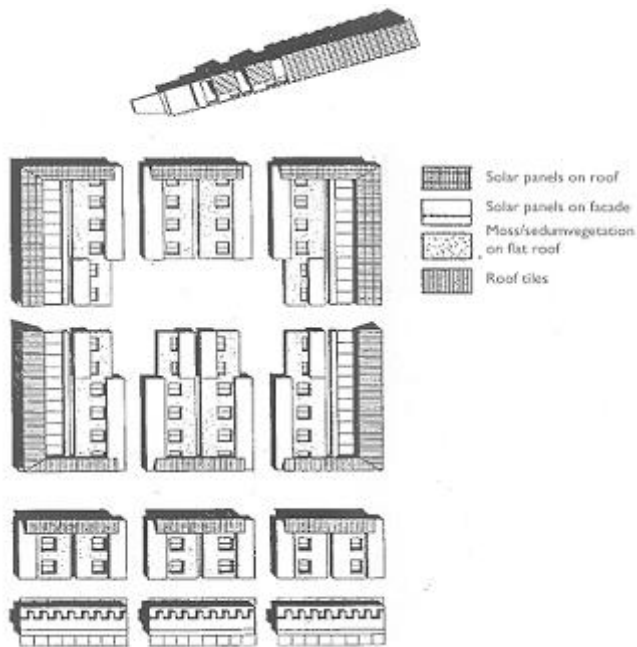
1998년까지 5년간 420개소 시설에 3~4kW 규모로 총 용량 1.6MW를 공급하고, 2002년 10월 세계 최대 태양광발전소를 비롯하여 300개 빌딩, 700여 채의 주택에 10MW(최대 발전 가능량 2,700MW) 용량의 PV 시스템을 설치하였다. 대표적인 곳으로는 540kW 규모로 주차장에 설치된 것으로는 세계 최대인 칼 엑스포 솔라포트를 비롯하여, 주정부 청사 12kW, 20개 교회 200kW, 스머드 소비자 서비스센터 28kW 등이다. 이는 3,300여 가구 1만 여 명이 1년 내내 태양 복사 에너지로만 전력 수요를 충당할 수 있는 양이며, 미국 전역의 태양광발전의 절반 정도의 규모이다.²¹⁾

21) 정혜진, "태양도시(에너지를 바꿔 삶을 바꾸다)", 그물코, 2004.11

(2) 네덜란드 니유 슬로턴(Nieuw Sloten)²²⁾

① 개요 및 목표

대표적인 도시 차원의 태양광시스템 적용 사례로 1996년 네덜란드 암스테르담 시 외곽의 신가지에 조성된 공동주택단지인 니유 슬로턴을 들 수 있다. 니유 슬로턴은 세계에서 처음으로 BIPV 시스템을 대규모로 적용한 도시 지역이다. 이 프로젝트의 결과는 신축 공동주택단지에 대규모의 태양광시스템을 통합적으로 설치하는 좋은 사례로 이용되고 있다. 암스테르담 전기회사(Amsterdam Energy Company : EBA) 주관으로 추진되고 네덜란드 정부가 재정 지원한 본 프로젝트는 250kWp 규모의 BIPV 시스템이 약 70여 채의 주거 건물의 지붕 전체에 적용하거나 벽을 이용하는 등 다양한 유형으로 건물에 적용되었다. 다음 (그림 2.14)는 공동주택에 BIPV를 적용한 배치도를 나타낸 것이다.



(그림 2.14) 니유 슬로턴의 태양광시스템 적용

22) 김준태, 김경호, “도시 차원의 태양광발전 적용”, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 통권3호, 2002.11, pp.66~67

② 적용 요소 및 효과

전체 250kWp 용량 중 20kWp는 4층 높이의 공동주택 입면에 적용(그림 2.16) 되었고, 16kWp는 이 건물의 옥상층인 지붕에 설치되었으며, 나머지 지붕에도 40kWp 용량의 태양광시스템이 설치되었다. 가장 큰 용량인 175kWp가 적용된 곳은 34채의 단독주택 지붕이다. PV 시스템의 연간 에너지 생산량으로 400여 가구 중 약 80여 가정의 전력 요구량을 충당하였다.



(그림 2.15) 니유 슬로턴 건물 입면 PV 적용

새로이 조성되는 주거지역에 지어진 약 5,000여 채의 신축 건물 중 70여 채의 주택에 태양광시스템이 적용되었다. 건물의 지붕에 설치된 PV 모듈은 남측을 면한 주택의 경우에는 지붕에 35° 경사를 이루며 설치되었고 남서향을 면한 주거동에는 25°의 경사를 이룬다. 모든 PV 모듈은 외부에서 접근이 가능하도록 설치되어 유지·보수 시 탈착이 가능하다. 프레임이 없는 PV 모듈을 지지하는 구조체는 일반적으로 온실에 쓰이는 알루미늄 프로파일로 구성되어 있다. PV 하단부에는 지붕 기와가 사용되지 않았으나 향후 PV 모듈을 지붕 기와로 교체할 것에 대비하여 표준적인 기와지붕 형태로 시공되었다.



(그림 2.16) 니유 슬로턴 건물 지붕 PV 적용

2.2 태양열시스템

본 연구에서는 기존의 공동주택단지를 대상으로 신재생에너지를 적용하기 때문에 설비형 태양열시스템 중 저온용 태양열시스템의 적용 분야인 건물의 냉난방과 온수 급탕에 관해 살펴보도록 한다.

2.2.1 설비형 태양열시스템

(1) 태양열시스템의 개요

태양열에너지는 에너지 밀도가 낮고 계절별, 시간별 변화가 심한 에너지이므로, 태양열시스템은 집열과 축열 기술이 가장 근본이 되는 기술이다. 태양열시스템이란 건물의 구조체나 기계적인 동력을 이용하여 태양열을 저장하는 방식으로 지붕에 있는 집열관(Solar Collector)에서 뜨거워진 물을 펌프를 이용하여 축열 탱크(Storage Tank)로 보내어 열을 저장하고 축열 탱크에 있는 물을 이용하여 난방 및 급탕에 사용한다. 흐린 날이 계속될 경우나 혹은 열이 충분하지 않을 경우를 대비해 보조 열원을 설치해야 한다.

(2) 설비형 태양열시스템의 종류

태양열시스템은 집열 온도에 따라서 저온 분야와 중고온 분야로 분류하여 저온 분야는 주로 건물의 냉난방 및 급탕과 대규모 온수 급탕 시설이 포함되고, 중고온 분야는 산업공정 열 및 열발전과 기타 특수 분야에 이용된다. 다음 <표 2.5>²³⁾는 태양열시스템을 집열 방식 및 활용 온도에 따라 정리한 것이다.

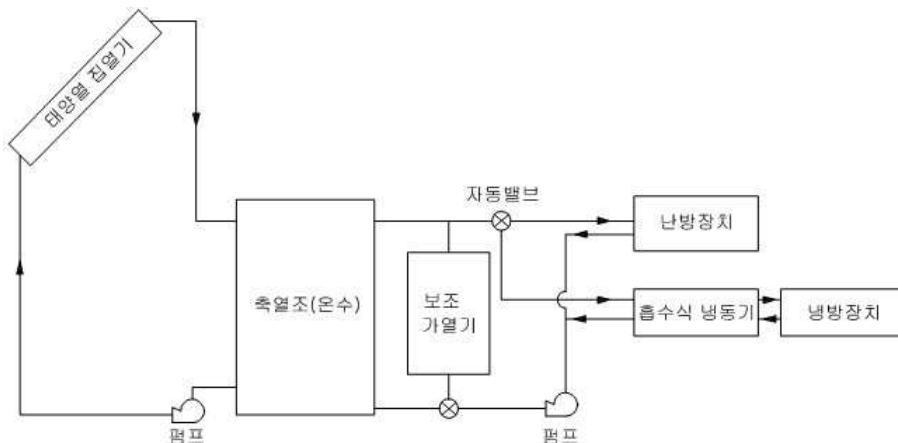
23) 산업자원부, “신재생에너지 RD&D 전략 2030(태양열)”, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2007.11, p.17

<표 2.5> 태양열시스템의 분류

구분	자연형	설비형		
		저온용	중온용	고온용
활용온도	60℃ 이하	100℃ 이하	300℃ 이하	300℃ 이상
집열부	자연형 시스템	평판형 집열기	진공관형 집열기 PTC형 집열기 CPC형 집열기	Dish형 집열기 Power Tower 태양로
축열부	공기 Trombe Wall	저온 축열	중온 축열	고온 축열
적용분야	난방, 온실	난방, 급탕, 농수산 분야	건물 냉난방, 산업 공정열, 폐수처리	열 발전, 태양화학, 우주용

① 태양열 냉난방

설비형 태양열 냉난방 시스템은 건물 내의 기존 HVAC 시스템과 직접 연결할 수 있다. 현재 널리 사용되고 있는 대표적인 설비형 태양열 냉난방 시스템의 계통도는 (그림 2.17)²⁴⁾과 같다.



(그림 2.17) 태양열 냉난방 시스템 계통도

태양열 난방은 물 또는 공기를 전열 매체로 하여 집열기로 태양열을 집열하여, 이 열을 직접 실내 공기의 가열에 사용한다.²⁵⁾ 필요한 냉난방 요구량을

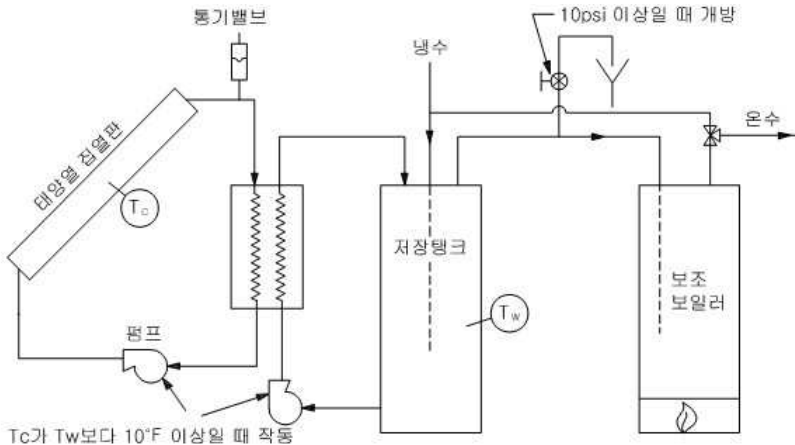
24) 차진영, op. cit., 2005.2, p.17

전부 만족시킬 수 있는 보조 가열 장치를 설치하여 냉난방의 요구가 많고 일조가 적을 때에 사용하는 것이 바람직하다.

건물을 냉방하기 위해서는 우선 난방할 때 필요한 뜨거운 열을 사용한다. 이 열을 사용하여 리튬-브로마이드 및 암모니아-물 장치와 같은 흡수식 냉동기를 사용하거나 랭킨사이클(Rankine Engine)을 이용한 증기 압축식 냉동기를 사용하게 된다.

② 태양열 급탕

태양열 이용에 있어 가장 오랜 역사와 경제성을 갖고 있으며, 실용 단계에 와 있는 분야이다. 태양열 급탕에서 요구되는 적정 온도의 수준은 40~60℃ 정도의 저온이므로 집열 장치의 가격이 비교적 저가이고 단순하여 생산 및 설치하는 데에 경제성이 높다.²⁵⁾ 연중 내내 급탕 부하를 담당할 수 있고, 설치 및 조작이 단순하기 때문에 유리하다. (그림 2.18)²⁷⁾은 가정용 급탕 장치(Domestic Hot Water System, DHW)에 태양열을 이용하는 방식을 개략적으로 나타내고 있다.



(그림 2.18) 태양열 급탕 시스템 계통도

(3) 설비형 태양열시스템의 구성 요소

25) 산업자원부, “태양에너지 RD&D 전략 2030(태양열)”, 2007.11, p.40

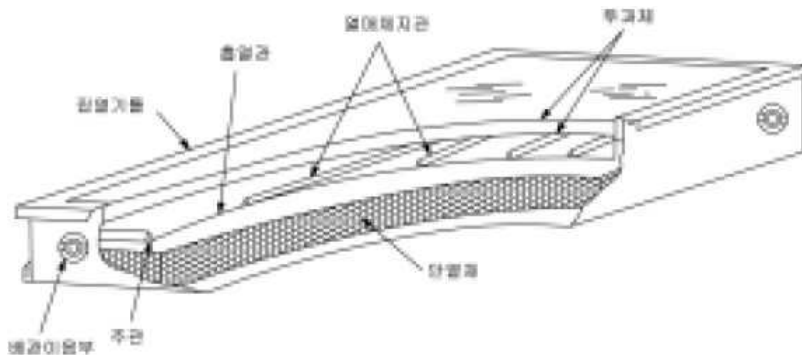
26) Ibid., p.50

27) 차진영, op. cit., 2005.2, p.18

설비형 태양열시스템은 태양열을 흡수하는 집열부와 집열된 열을 저장하는 축열부 및 축열된 열을 사용하는 이용부로 구성된다. 기타 순환 장치, 보조 열원 및 제어 장치가 추가 설치된다.

① 집열부

태양열 집열기는 태양 복사 에너지가 입사되는 것을 보통 가열된 공기나 액체 형태의 유용한 에너지로 전환해 주는 기기로, 여러 가지 형태가 있으나 태양열 난방 및 급탕 시스템 등 저온 분야에서는 평판형 집열기가 주로 사용된다. 평판형 집열기는 집열면이 평면을 이루면서 태양 복사 에너지 흡수 면적이 태양 복사 에너지의 입사 면적과 동일한 집열기라 정의한다.



(그림 2.19) 평판형 집열기의 구조

집열기에 입사된 태양 복사 에너지는 검은색으로 도장된 집열판에 열에너지로 대부분 흡수되며, 흡수된 열에너지는 순환되는 열전달 매체에 전달되고 일부는 주위로 손실된다. 열전달 집열 매체에 옮겨진 열에너지는 가용 집열량으로 저장되거나 열 부하에 직접 공급된다.

평판형 집열기는 집열 매체의 취득 온도를 외기 온도 이상 100℃ 이하의 범위로 보며, 이 집열기의 장점은 전 일사량, 즉 직달 및 분사 일사 성분 모두를 이용할 수 있다는 점과 태양광을 추적하지 않아도 된다는 점이다.

② 축열부

열을 발생하는 열원과 그 열을 이용하는 열기기 사이에는 대체로 공간적이거나 시간적인 거리가 있다. 공간적인 거리를 극복하기 위해서는 열을 이동시킬 수 있는 열 교환기나 배관이 필요하며, 시간적인 거리를 극복하려면 축열이 필요하다. 특히 태양 복사 에너지를 이용한 시스템에 있어서는 열원인 태

양 일사 자체의 밤낮 같은 주기적인 비연속성과 맑음과 흐림 같은 간헐성 때문에 매우 중요하다.

태양에서 방출되어 집열기에 의해 모아진 에너지가 사용 시점에서 요구하는 양을 넘을 때, 축열조에 열을 저장한다. 열 저장은 태양열 보조에 의한 온수 급탕을 위해서도 필요하다.

축열조는 반드시 비나 바람으로부터 보호될 수 있도록 실내에 설치되어야 하며, 지름에 대한 높이의 비가 가능한 큰 수직형 원통 탱크가 열적 성층 현상을 최대한 이용할 수 있기 때문에 효과적이다.

③ 순환 장치

집열기 및 축열 장치로부터 공급된 에너지를 주택 내 각 소비처로 분배하는 장치로써 덕트나 파이프에 의해 온풍이나 온수를 공급하기도 하고 전선을 통해 전기를 공급하는 등의 장치를 말한다. 또한 집열기와 저장조를 통해 흐르는 열매의 양을 조절한다. 순환 장치는 펌프, 밸브 및 배관 등으로 구성된다.

④ 보조 열원 장치

보조 열원 장치는 태양열시스템을 운전할 수 없는 기간에, 혹은 집열기와 축열조로부터 태양열로 얻어진 온도가 건물의 난방이나 냉방부하를 만족시키기에 충분하지 못한 흐린 날들이 계속되는 동안에 사용에 필요한 에너지를 공급해준다. 흐린 날씨가 지속되어 태양열시스템이 운전할 수 없을 때 보조 열원 장치는 일반적으로 주택의 전체 요구량을 공급할 수 있는 용량을 갖는 것이어야 한다.

⑤ 제어장치

제어장치는 태양열시스템을 효율적이고 안전하게 운전 및 보호되도록 하는 것으로 감지, 평가 및 반응 기능을 수행하게 된다. 태양열시스템의 제어는 주어진 조건 하에서 에너지 집열량을 최대화하기 위한 목적으로 연구되어 왔다. 제어를 어떻게 하느냐에 따라서 태양열시스템의 성능이 크게 달라질 수 있을 뿐만 아니라 동파 방지, 과열 방지 등 시스템 안전에도 큰 영향을 미치게 된다.

예를 들어 태양열 난방의 경우 주택 내 온도가 서모스탯(thermostat)에 의하여 감지되며 열이 필요하면 분배장치(펌프 혹은 송풍기)를 작동시킨다.

2.2.2 공동주택단지에서의 태양열시스템 적용 사례

아파트의 벽이나 지붕에 집열판을 넓게 설치해서 아파트 전체에서 필요한 열의 일부 또는 전부를 공급할 수도 있고, 여러 개의 주택을 하나로 묶어 이들 주택 지붕 위에서 만들어진 열을 한 군데에 모았다가 대단위 난방을 할 수도 있다. 이 경우에 필요한 것은 집열판의 규모에 맞는 커다란 축열조와 비교적 정밀한 열 조절시설이다. 태양열을 이용해서 대단위로 난방열이나 온수열을 공급하는 일은 스웨덴에서는 이미 20년 전부터 시행되어 왔고, 독일 등지에도 퍼져나가고 있다.

(1) 독일 함부르크 브람펠트(Bramfeld)²⁸⁾

① 개요 및 목표

독일의 브람펠트 신 주거 단지는 주택들의 남쪽 면을 향한 지붕이 모두 집열판으로 덮이도록 설계되어 있으며, 이곳에 사는 124가구가 이 태양열 집열 장치의 혜택을 받고 있다.



(그림 2.20) 브람펠트 단지 내 지붕에 설치된 집열판

② 적용 요소 및 효과

브람펠트 주거단지 집열판의 전체 면적은 3,000m²이고, 집열판에서 얻어지는 뜨거운 물을 보관하는 콘크리트 축열조는 지름이 26m, 깊이가 12m, 부피

28) 에너지전환, “<http://energyvision.org>”

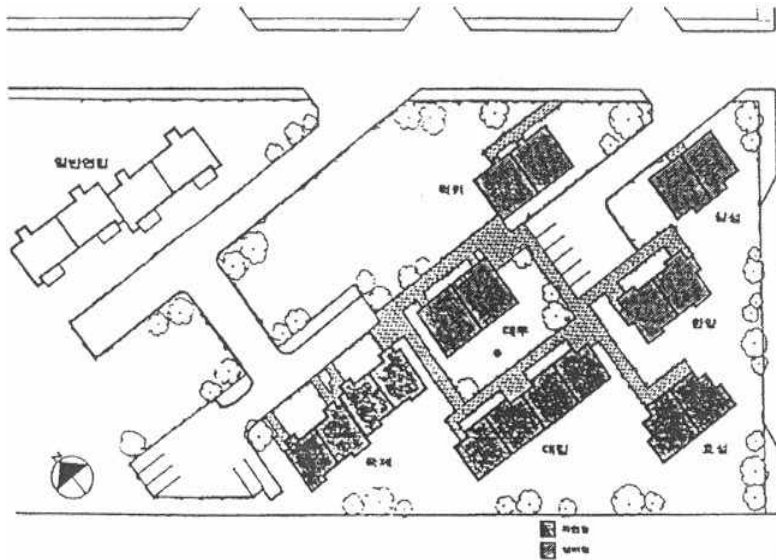
는 4,500m³에 달한다. 축열조가 큰 이유는 뜨거운 물이 대부분 4~9월에 만들어지고, 정작 열이 많이 필요한 겨울에는 햇빛이 거의 비치지 않기 때문이다. 여름철 물의 온도는 95℃까지 올라가는데, 이것은 대형 축열조에 보관되었다가 겨울에 난방용 및 온수용으로 쓰인다. 겨울철에 많이 사용하여 물이 식으면, 보조 장치로 붙어 있는 가스보일러로 물을 데워서 공급한다. 브람펠트 주거단지의 난방, 온수용 가스 사용량이 집열판이 설치되지 않은 경우의 절반 정도로 나타났다.

(2) 과천 태양열 주택

① 개요 및 목표

과천 태양열 주택단지는 15° 경사의 관악산 언덕 위에 자리 잡고 있어 태양열 난방을 위한 일사조건에 부합된다. 단지의 태양 일사량은 겨울철에도 날씨가 좋으면 하루 발전량이 2,000kcal/m² day가 되는 날이 많으며, 연평균 일조율은 55.2% 정도로 비교적 양호한 편으로 1월에 59.2%, 2월 60.0%, 3월 56.0%, 10월 67.0%, 11월 59.0%의 좋은 일조율을 나타내고 있어 태양열난방을 하기에는 좋은 입지조건이다. 눈이 많이 오는 12월에는 일조율이 나쁘지만 눈이 많이 오는 날은 비교적 온화한 기온이 되기 때문에 난방에 큰 문제가 없다고 판단된다.²⁹⁾

29) 김희춘 외 4명, “과천태양열주택건설 종합보고서”, 대한주택공사, 1981.12, p.68



(그림 2.21) 과천 태양열 주택단지 배치도

② 적용 요소 및 효과

자연형 태양열 난방방식은 축열벽 방식(Trombe Wall)과 직접획득 방식(Direct Gain)을 병용한다. 모든 침실과 거실은 남쪽에 배치하고, 평면의 일부는 단층식(Split Floor)을 취하여 북측 벽의 표면적을 감소시킴으로써 건물 자체가 보온에 유리한 형태를 갖추게 하였다.

축열벽은 비대류식을 설치하였는데, 대류식 축열벽보다 축열량이 증가되는 이점이 있어 야간 난방에 유리하다. 야간에는 집열 공간에 설치된 가동식 단열면을 사용함으로써 태양열시스템의 성능을 향상시킨다.

직접획득 방식은 여름철 태양열시스템의 과열 방지를 위한 수평 차양을 설치하고 있다. 남쪽과 북쪽에 통풍창이 있으므로 여름철 실내 통풍이 유지된다.³⁰⁾

설비형에서 난방시스템은 주로 Panel Heating을 사용하였다. Panel Heating은 난방 열매 공급 온도가 다소 낮더라도 난방 효과를 얻을 수 있다. 독일 등에서의 연구에 의하면 방열기 난방보다 에너지 절약 면에서 유리하다고 보고 있다. 모든 기기의 가동은 자동 제어기기에 의한 전자동 방식이다.

30) 진용팔, "생태주거의 개념과 설계적용에 관한 연구", 홍익대 산업대학원 석사학위논문, 2002.8, pp.36~37

2.3 지열시스템

2.3.1 지열 히트펌프 시스템

(1) 지열시스템의 개요

일반적으로 지열에너지란 지중(토양, 지하수, 지표수 등)이 태양 복사 에너지나 지구 내부의 마그마 열에 의해 보유하고 있는 에너지를 의미한다. 태양 복사열은 지구에 도달하는 전체 복사 에너지 중 약 47%를 차지하며, 대체로 특정 깊이의 지중 열은 연중 일정한 온도를 유지하고 있다. 이러한 지열에너지는 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.

지열을 활용하는 측면에서 보면, 직접 이용(direct use)과 간접 이용(indirect use) 기술로 분류할 수 있다. 지열의 직접 이용은 말 그대로 땅 속의 중·저온 에너지(10~20℃)를 히트펌프(Heat Pump)나 냉동기와 같은 에너지 변환기기의 열원으로 공급하여 건물 냉난방, 각종 건조 산업, 도로 용설(snow melting), 온천, 양식업 및 시설 영농, 지역난방 등에 활용하는 기술을 의미한다. 반면, 간접 이용 기술은 앞서 언급한 심부지열 중 대략 80℃ 이상의 고온수나 증기를 끌어올려 전기를 생산하기 위한 지열발전(Geothermal Power Plant)에 활용하는 기술을 일컫는다.³¹⁾

본 연구에서는 공동주택단지를 대상으로 하기 때문에 천부지열을 이용하여 건물의 냉난방하거나 온수를 공급하는 지열 히트펌프 시스템(Geothermal Heat Pump Systems) 기술로 한정하여 살펴보도록 한다.

(2) 지열 히트펌프 시스템의 구성 요소

지열 히트펌프 시스템은 크게 지중열교환기(Ground Heat Exchanger 또는 Borehole Heat Exchanger)와 히트펌프로 구성된 냉난방 겸용 시스템이다. 즉, 냉방 시에는 건물 내의 열을 지중으로 방출하고, 난방과 급탕 시에는 지중의

31) 산업자원부, “신재생에너지 지열분야 기술 및 시장 동향분석 보고서”, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2007.10, p.3

열을 실내와 온수에 공급함으로써 하나의 시스템으로 공간 냉난방과 온수·급탕을 동시에 구현할 수 있다. 냉방과 난방 모드에서 각각 냉열원(Heat Sink)와 온열원(Heat Source)의 역할을 하는 지중 온도는 연중 안정적이기 때문에 지열 히트펌프 시스템은 높은 효율과 우수한 성능을 갖는다. 따라서 기존 냉난방 설비나 공기열원 히트펌프 시스템과 비교했을 때, 효율이 높고 성능이 우수한 시스템으로 알려져 있다.³²⁾

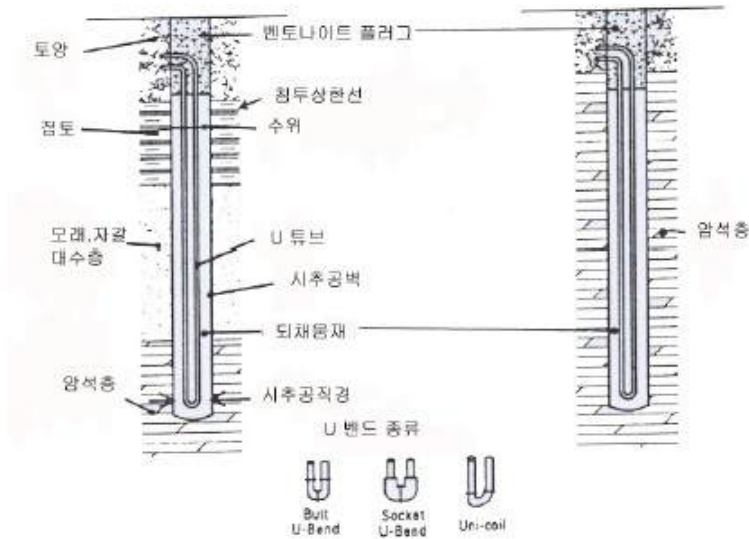
① 지중열교환기

다음 (그림 2.22)³³⁾는 수직형 지중열교환기의 설치 개략도를 보여주고 있다. 지중열교환기 파이프로 사용되는 U자 관을 보어홀에 삽입한 다음 파이프와 보어홀 사이의 빈 공간을 그라우팅 재료(grouting materials, 뒤채움재)로 다시 채움으로써 완성된다.

지중열교환기 파이프의 크기를 결정할 때, 지중열교환기 순환 유체와 토양 사이의 열전달 뿐만 아니라, 유체를 순환시키는 데 필요한 동력(순환펌프가 소비하는 전기 에너지)을 동시에 고려하여야 한다. 즉, 파이프의 직경을 크게 하면 순환펌프 구동에 필요한 에너지는 감소하지만, 열전달이 원활하게 이루어지지 않는다. 반대로 지중열교환기 파이프 내의 유체 흐름을 난류유동(turbulent flow)으로 만들면, 열전달은 향상되지만 펌프의 소비 동력이 증가한다. 파이프의 직경이 커질수록 가격은 상승하며, 작업자가 다루기도 힘들다.

32) DOE, "Ground-source heat pumps applied to federal facilities- second edition", Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245(PNN L-13534), US Department of Energy, 2001

33) IGSHPA, "Grouting for Vertical Geothermal Heat Pump Systems : Engineering Design and Field Procedures Manual", International Ground Source Heat Pump Association, 2000



(그림 2.22) 수직 U자 관 지중열교환기 파이프의 설치 개략도

지중열교환기 순환유체로 부동액을 주로 사용한다. 이상적인 순환유체는 열 전달 능력이 우수하고 점도가 낮아야 하며, 지중 환경에 대한 영향이 없어야 하고, 각종 금속에 대한 내부식성이 있어야 한다. 또한 값이 저렴하면서 장기간 사용할 수 있어야 한다.

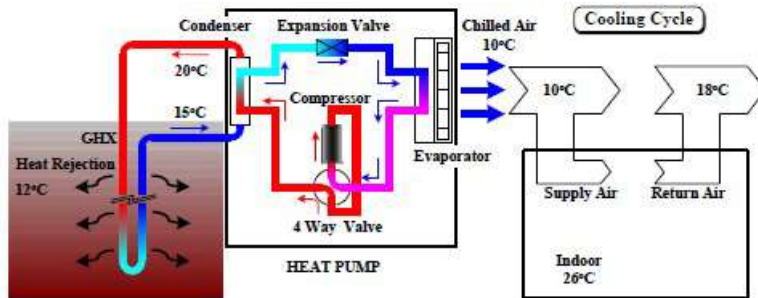
그라우팅 재료는 지중열교환기 순환유체와 보어홀 주변의 토양 또는 암석 등과 열전달을 촉진하고, 지표면에 고인 물이 보어홀 내로 유입되는 것을 방지하며 보어홀 주변의 지하 수맥에서 보어홀 안으로 지하수가 유입되는 것을 방지하는 역할을 한다. 현재 투수도(permeability)가 낮은 벤토나이트 계열이나 시멘트 계열 재료가 주로 사용된다.

② 히트펌프(Heat Pump Unit)

지열 히트펌프의 중요 구성요소인 히트펌프 유닛은 물 대 물 방식(water-to-water) 방식과 물 대 공기(water-to-air) 방식으로 분류된다.

(3) 지열 히트펌프 시스템의 냉난방 사이클

다음 (그림 2.23)³⁴⁾은 지열 히트펌프의 냉방 사이클을 나타낸 것이다.



(그림 2.23) 지열 히트펌프 시스템의 냉방 사이클

고온·고압의 냉매는 과열 증기 상태로 압축기를 나와 4방 밸브를 거쳐 응축기로 들어간다. 응축기에서 고온의 증기 냉매는 상대적으로 온도가 낮은 지중열교환기 순환수와 열을 교환한다.

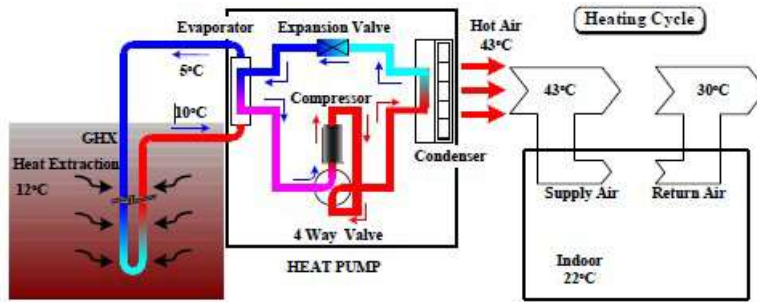
이 과정에서 지중열교환기 순환수의 온도는 상승하고, 냉매는 증기 형태에서 액상(liquid phase)으로 변한다. 전형적인 시스템에서 지중열교환기 순환수의 응축기 입구온도(EWT)는 약 15~20°C이고, 출구온도(LWT)는 약 5~6°C 정도 상승한다.

온도가 상승한 지중열교환기 순환수는 다시 토양과 열을 교환하면서 설정 입구 온도까지 떨어지게 된다. 응축기를 나온 고온의 액상 냉매는 팽창밸브를 지나면서 저온·저압의 상태가 된다. 저온·저압 상태의 액상 냉매는 다시 증발기로 들어가 실내 공기와 열을 교환하며, 이 과정에서 액상 냉매는 증발기로 유입되는 실내 공기를 차갑게 만들면서 증기로 상변화를 한다. 증발기를 나온 저온·저압의 기상 냉매는 4방 밸브를 지나 압축기로 들어가며, 압축과정에서 고온·고압의 증기 냉매가 된다.

다음 (그림 2.24)³⁵⁾는 지열 히트펌프의 난방 사이클을 나타낸 것이다.

34) 산업자원부, “신재생에너지 지열분야 기술 및 시장 동향분석 보고서”, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2007.10, p.14

35) Ibid., p.14



(그림 2.24) 지열 히트펌프 시스템의 난방 사이클

압축기를 나온 고온·고압의 증기 냉매는 4방 밸브를 거쳐 응축기로 들어간다. 응축기에서 고온의 증기 냉매는 상대적으로 온도가 낮은 실내 순환 공기(물 대 공기 방식) 또는 건물 순환수(물 대 물 방식)와 열을 교환한다. 이 과정에서 냉매의 상은 증기에서 액상으로 변하며, 실내 순환 공기나 건물 순환수는 냉매가 갖고 있던 에너지를 받아 온도가 상승한다.

온도가 상승한 공기나 건물 순환수를 분배 장치를 통해 난방을 하거나 온수를 공급하게 된다. 응축기를 나온 액상 냉매는 팽창밸브를 지나면서 온도와 압력이 감소하여 증발기로 들어간다. 증발기로 유입된 액상 냉매는 지중 열교환기 순환수로부터 에너지를 받아 다시 증발하고, 4방 밸브를 지나 압축기로 들어간다. 이때 지중열교환기 순환수의 증발기 입구 온도는 대략 10°C이며, 냉매를 증발시키는 과정에서 지중열교환기 순환수의 온도는 약 5~6°C 정도 감소한다.

온도가 강하된 지중열교환기 순환수는 토양과 열을 교환함으로써 설정 입구 온도까지 상승한다. 압축기는 저온·저압의 증기 상태의 냉매를 압축하여 처음 상태로 되돌린다.³⁶⁾

(4) 지열 히트펌프 시스템의 종류 및 특징

① 설치 방식에 따른 구분

㉠ 개방형 시스템(Open-loop Systems)

수원지, 호수, 강, 우물 등에서 공급받은 물을 운반하는 파이프가 개방되어

36) 한정상 등, “지열펌프 냉난방 시스템”, 도서출판 한림원, 2005

있는 것으로 풍부한 수원이 있는 곳에서 적용 가능하다. 개방형 시스템은 파이프 내에서 직접 지열의 획득이 가능하므로 열 전달 효과가 높고 설치비용이 저렴한 장점이 있으나, 폐회로에 비해 운전이나 유지·보수에 주의가 필요하며, 지하수나 토양의 오염 문제를 야기할 수 있다.

㉠ 밀폐형 시스템(Closed-loop Systems)

일반적으로 적용되는 밀폐형 시스템은 파이프가 밀폐형으로 구성되어 있는데, 파이프 내에는 지열을 열 교환하기 위한 열매가 순환되며, 파이프의 재질은 고밀도 폴리에틸렌이 사용된다. 다양한 용량으로 시공할 수 있지만 초기 투자비와 효율 면에서 개방형 시스템보다 다소 떨어지는 단점이 있다.

㉡ 지중열교환기의 매설 형태에 따른 구분

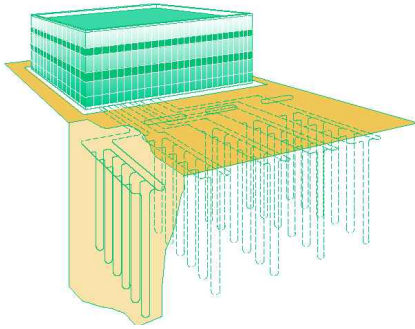
㉠ 수평형 시스템(Horizontal Loop System)

수평형 지중열교환기를 채택한 경우, 시공비용은 수직형에 비해 상대적으로 저렴하다. 대상 건물 주변에 수평형 지중열교환기파이프를 매설할 수 있는 부지가 충분할 경우에 고려할 수 있는 시스템이다. 수평형 시스템의 지중열교환기 파이프는 지면에서 1.5~3m 깊이로 굴착된 골(trench)에 매설된다. 이때 지중온도와 지중 열 물성치는 계절이나 연간 강우량 등에 영향을 받기 때문에 시스템 효율은 수직형보다 다소 낮다.

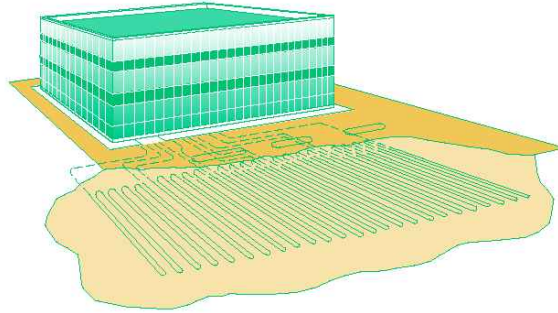
㉡ 수직형 시스템(Vertical Loop System)

지중(토양)에 수직으로 매설되며 시공 부지의 제약이 상대적으로 적다. 또한 건물의 냉난방부하와 부지 조건에 따라 다양한 깊이로 시공할 수 있다. 일반적인 수직형 지중열교환기는 직경 100~150mm, 깊이 75~180m의 보어홀을 지면에서 천공한 후, 외경 3/4~1 1/2 in.의 폴리에틸렌 U자 관을 삽입하고, 이 U자 관과 보어홀 사이의 빈 공간을 그라우팅 재료로 채워 완성된다.³⁷⁾

37) Kavanaugh, S.P. and Refferty, K., "Ground-source Heat Pumps : Design Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE, 1997



(그림 2.25) 수직형 시스템



(그림 2.26) 수평형 시스템

③ 이용 열원에 따른 구분³⁸⁾

㉠ 토양 열원 히트펌프 시스템(Ground-Coupled Heat Pump Systems)

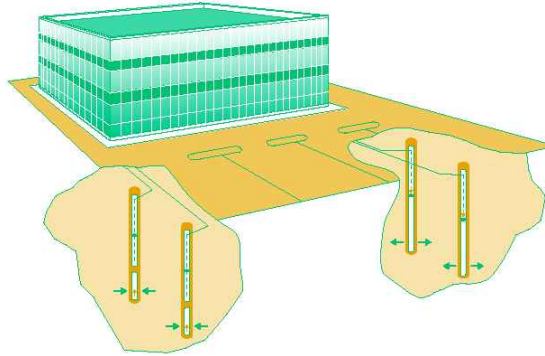
토양 열원 히트펌프 시스템은 심층 땅속에 저장된 고온의 지열 유체를 추출하거나 또는 물을 인위적으로 주입하여 고온의 물이나 수증기를 생산한 후, 그 열에너지를 전기에너지로 변환하는 방식이다.

이 시스템은 효율과 성능 면에서 기타 시스템보다 우수한 것으로 알려져 있다. 이는 냉난방 사이클에서 각각 냉열원과 온열원의 역할을 하는 지중의 연중 온도 변화가 외기의 변화보다 상대적으로 안정적이기 때문이다. 아울러 대기 중에 노출되는 기기가 없고 냉매를 적게 사용하며, 공간 활용 측면에서도 탁월하다.

㉡ 지하수 열원 히트펌프 시스템(Ground Water Heat Pump Systems)

지하수 열원 히트펌프 시스템은 양질의 지하수가 풍부할 때, 이를 열원이나 히트싱크로 활용하는 시스템이다. 개방형 시스템은 전체 지열 시스템 중에서 효율이 높지만, 지하수에 포함된 오염물질은배관이나 열 교환기에 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 열 교환기의 수명을 단축시킬 수 있다. 따라서 지하수 수질이 우수한 것으로 판명되었을 경우에만 이 시스템을 적용하여야 한다. 아울러 시스템 설계가 적절하지 못하거나 지하 대수층 깊이가 깊을 경우, 지하수 순환펌프의 소비 동력이 증가하여 시스템 효율은 감소하게 된다.

38) 김진한 외 5명, “스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구”, 산업자원부, 2006.7, pp.9~12



(그림 2.27) 지하수 열원 히트펌프 시스템

㉔ 지표수 열원 히트펌프 시스템(Surface Water Heat Pump Systems)

지표수 열원 히트펌프 시스템은 자연연못, 인공연못, 호수, 저수지, 원수 등을 냉열원과 온열원으로 활용한다. 일반적으로 밀폐형 지표수 시스템은 나선(Spiral) 형상의 지중열교환기를 사용한다. 이 때 물속의 지중열교환기 파이프가 부력에 의해 뜰 수 있기 때문에 설치에 주의를 기울여야 한다. 연못이나 호수의 크기가 작을 경우, 외기온도 변화에 영향을 받아 시스템 효율이 감소할 수도 있다.

㉕ 하이브리드 지열 시스템(Hybrid Geothermal Heat Pump Systems)

토양 열원 히트펌프 시스템은 지중열교환기 설치를 위한 부지와 설치비용 면에서 제약을 받으며, 건물이 커질수록 지중열교환기 설치비용은 더욱 상승하게 된다. 이러한 점을 보완하기 위해 제안된 방식이 하이브리드 지열 시스템이다. 이 시스템은 보조 냉열원(냉각탑 등)이나 보조 온열원(보일러, 태양열 집열판 등)을 병행함으로써 지중열교환기 개수나 길이 등을 줄일 수 있다.

2.3.2 공동주택단지에서의 지열시스템 적용 사례

개별 건축물 차원에서는 많은 사례를 발견할 수 있었으나, 공동주택단지 차원에서 적용한 사례를 발견하지 못하였다.

제 3 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용 프로세스

3.1 태양광 및 태양열시스템 적용을 위한 고려 요소

3.1.1 건축 계획적 요소

태양광 및 태양열시스템을 공동주택단지에 적용하기 위해서는 건축 요소와 통합하여 계획하여야 한다. 건축 요소들은 시스템의 적용 가능성에서부터 시스템의 설치 위치, 규모, 각도와 같은 시스템 설계에 많은 영향을 미치게 된다. <표 3.1>은 태양광 및 태양열시스템의 적용에 있어서 고려하여야 할 건축 설계 변수들을 계획단계에 따라 구분하여 보여주고 있다.

각 설계 요소들은 시스템의 설계에 제한적인 요소로 작용할 수도 있고, 입면, facade와 같이 건축 설계 요소와 통합적으로 적용이 가능한 요인이 될 수도 있다.

<표 3.1> 건축 설계 요소와 태양광 및 태양열시스템 설계 요소와의 관계

건축 계획적 고려 요소		영향을 받는 시스템 설계 요소
단지 계획	단지 위치 및 향	- 부지에 유입되는 연간 일사량, 일사각도, 일조시간
	주변 건물이나 주동	- 단지 내 음영면적과 유효 일사량 : 단지 남향에 고층건물이 있으면 이로 인해 음영이 생기는 주동에 시스템 적용이 불가능하거나 효율 저하
	단지 내 식생 및 조경	- 저층부 시스템 적용 : 남향에 높은 나무들이 무성하면 저층부에 시스템 적용 불리
	주차 위치와 면적	- 지상 주차장 : 일사조건에 따라 PV 모듈 설치 가능
	부지 내 보행자 도로	- PV를 이용한 가로등 설치 검토

건축 계획적 고려 요소		영향을 받는 시스템 설계 요소
주동 계획	주동 형태와 향	- 건물의 축 : 동서축으로 긴 남향 건물은 시스템 적용에 효율적
	규모(층수, 층고)	- 주변 건물 및 식생에 의한 음영 : 고층부일수록 음영이 적어 시스템 적용에 유리
	지붕 형태 및 향	- 시스템의 적용 유무, 형태, 배치 및 각도
	엘리베이터 및 계단실 위치	- 태양광시스템 적용 유무, 면적, 위치 및 각도
	입면 계획 요소 (발코니, 차양, 색상)	- 시스템의 적용 유무 : 발코니, 차양이나 측벽, 전면 벽체에 PV를 적용하여 입면 facade를 디자인 가능
	창 면적비 (남측 창 면적)	- 시스템의 적용 면적
	주동 입구의 위치와 형태	- 태양광시스템을 적용하여 입면 facade를 디자인

(1) 단지 계획요소

건축의 특성상 단지의 위치와 향, 주변건물은 변경하는 것이 쉽지 않기 때문에 단지 계획요소들에 대한 일사량, 일조시간, 일영조건은 건축 계획 단계 초기에 시스템 적용의 가능성을 판단하는 중요한 요인이 된다. 단지 내의 식생 및 조경은 태양광 및 태양열시스템을 적용할 때 그 성능이 방해받지 않도록 계획되어야 한다. 또한 주차장의 지붕이나 보행자 도로의 가로등과 같은 계획요소에는 태양광시스템의 적용을 고려할 수 있다.

(2) 주동 계획요소

주동의 형태와 향은 변경이 불가능하므로 시스템의 적용 가능성 평가에 영향을 미친다. 주동의 형태가 동서축으로 긴 남향의 건물은 태양광 및 태양열시스템을 적용하기에 유리하다. 또한 고층부일수록 주변 건물 및 식생에 의한 음영이 적기 때문에 적용이 유리하지만, 시스템의 규모와 수요에 따라 고층의 대규모 아파트보다는 저층형 소규모 아파트에서 태양광에너지를 더 효율적으로 이용할 수 있다.

지붕의 형태 및 향에 따라 집열판 및 PV 모듈을 적용할 수 있으며, 여러 입면 계획 요소들은 태양광 및 태양열 시스템과 통합적으로 설계하여 적용할 수 있다.

3.1.2 태양광시스템 적용을 위한 기술적 고려 요소

전기를 생산하는 PV 모듈을 건축 자재화하여 건물 외피에 장착하기 위해 수반되는 제반 고려사항은 기술적 측면에서 경제성 문제까지 수많은 고려요소가 존재한다. 이러한 고려요소를 큰 주제별로 구분해본다면 건축계획적 요소와 발전 성능의 상호관계, 건물 의장성 문제, 배선 등과 같은 기술적 요소, 안전성 문제, 시공성, 재료 및 구조적 문제, 유지·보수 등을 대표적으로 들 수 있을 것이며, 이외에도 경제성 평가 방법, 성능 평가 방법 등도 직접적으로 관련되는 요소이다.³⁹⁾ 이들 제반고려요소에 대한 세부적 관련항목을 구분해 보면 다음 <표 3.2>⁴⁰⁾와 같다.

39) 산업자원부, 에너지관리공단 대체에너지 개발 보급센터, “공공기관 신축 건축물에 대한 대체에너지 이용 의무화제도 안내”, 2004

40) 윤종호, “건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계 및 응용 기술”, 설비저널(대한설비공학회지), v.35 n.11, 2006.11, p.33

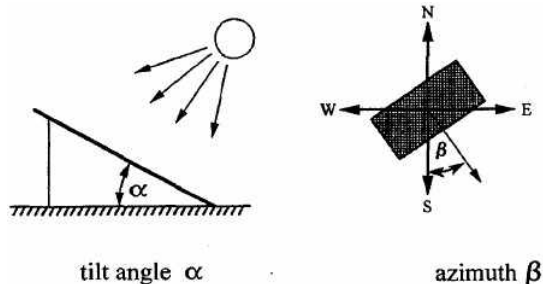
<표 3.2> 태양광시스템 설계를 위한 건축적 고려사항

구 분	고려사항	
설계요소와 발전성능	- 태양 접근성(건물 배치) - 설치각도(방위 및 경사)	- 음영(인접건물, 식생) - 온도
건축과의 조화성	- 형상과 색상 - PV와 건물통합수준 - 건축척도와 모듈 크기	
배선	- 외장적 처리기술 - 외피 관통 문제 - DC와 AC의 문제	
시공성	- 외피시공방법 - 적설하중 - 내압성	- 방화 - 풍압 - 시공순서
접근성 및 유지성	- 세척 - 수리교체	- 유지 - 도난 반달리즘

설계 지침 수립을 하려는 목표 하에 상기 요소 중 건축설계와 가장 핵심적으로 연관되는 설계요소와 발전성능 즉, 설치각도, 음영, 온도 등의 문제를 중점으로 고찰하였다.

(1) 최적 설치 각도

전력 생산에 있어서 가장 중요한 요소인 일사량은 태양광시스템이 설치되는 경사각과 방위에 의해 결정된다. 다음 (그림 3.1)에서 보는 것과 같이 수평면과 모듈면 사이의 각도가 경사각 α 를 나타내고, 방위각 β 는 남쪽을 기준으로 향을 나타낸다.



(그림 3.1) 경사각과 방위각

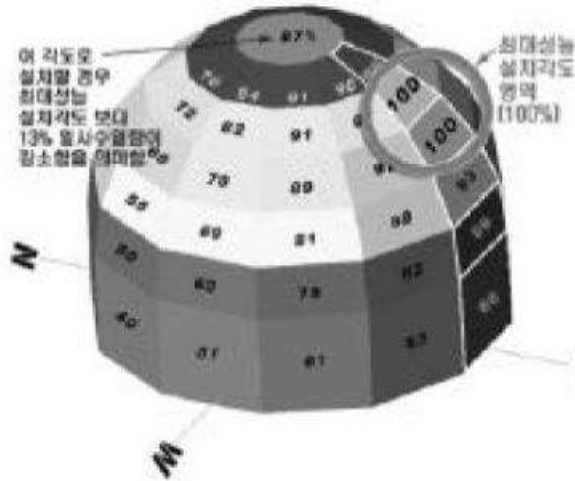
태양복사량은 위도에 따라 변화하며, 최대 획득량은 시스템의 설치 위치 즉, 경사각 및 방위각에 의해 결정된다. 일반적으로 가장 바람직한 방위는 정남향이며 수평면으로부터 경사각은 그 지역의 위도에 의해 결정된다. 또한 연중 일수에 의해서도 변화되는데, 태양고도가 낮은 동절기의 경우 수평면보다는 수직 파사드에 설치된 시스템에서 보다 많은 획득량을 기대할 수 있다.

태양에너지를 이용한 시스템은 연중 365일 태양에너지를 받아 발전을 하기 때문에 1년 중 적산 일사량이 가장 많은 설치각도로 시스템을 부착하는 것이 가장 바람직하다. 따라서 태양광 및 태양열시스템의 설계를 수행할 때마다 시스템의 설치 위치와 발전 성능의 저하에 따른 고민을 하여야 한다. 최대 효율을 위한 시스템의 설치 위치 결정을 위해서는 국내 지역별 방위 및 경사각에 대한 연중 적산 일사 획득량에 대한 상대적 성능 비교 데이터의 수립을 통해 효율적인 성능 데이터를 제공할 수 있다.⁴¹⁾

(그림 3.2)⁴²⁾는 설치각도에 따른 PV 발전량의 상대적 성능을 건축가들이 설계 초기 단계에 효과적으로 판정할 수 있도록 작성한 노모그램을 나타낸 것이다. 경사각 15°, 방위각 30° 간격으로 제시되었다.

41) 윤중호, “건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계 및 응용 기술”, 설비저널(대한 설비공학회지), v.35 n.11, 2006.11, p.33

42) Ibid.



(그림 3.2) PV 모듈 설치 각도에 따른 발전 성능

따라서 기존의 독립형 시스템은 그 지역의 위도 조건에 따라 상기의 조건을 가장 만족시키는 설치 각도로 부착되었다. 그러나 건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 경우 PV 모듈이 건축외장재로 건물 외피에 적용되기 때문에, 건물 조건에 따라 다양한 위치에 설치될 수밖에 없다. 특히 상업용 건물의 경우 수직벽에 부착되어야 하는 경우는 물론이고 향도 남향 이외에 동·서향으로 설치되어야 하는 경우도 흔히 발생할 것이다.

(2) 음영

발전성과 관련된 또 다른 중요사항으로 음영에 따른 발전 성능의 저하 문제이다. PV 모듈에 음영이 질 경우 도달 일사량 자체가 줄어들기 때문에 발전량이 감소하는 것은 당연한 원리지만, 부분 음영에 의한 전체 시스템의 발전량 감소도 매우 큰 영향 요소이다. 따라서 시스템에 음영이 생기지 않도록 설계하는 것이 무엇보다도 중요한 고려요소가 된다.

음영은 크게 인접 건물 또는 인근의 식재 등 장애물에 의한 음영과, 건물 자체에 있는 매스 요소 또는 PV 모듈 구조체 상호간에 의해 생성되는 음영으로 구분된다. 인접 건물에 의한 음영은 우선적으로 배제해야 할 설계 요소로, 초고층 건물의 경우 고층화에 따른 인접 건물의 영향 요인은 상대적으로 작을 수 있지만, 동일 매스 형태의 2개, 또는 여러 개의 고층 동으로 구성되는 경우는 필히 다른 동에 의한 음영요인을 고려하여 시스템의 설치 위치를

결정해야 할 것이다.

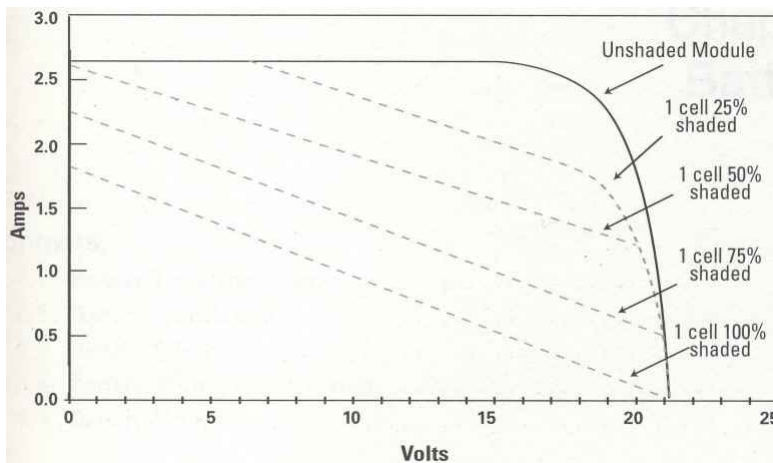
식생의 경우, 시간의 경과에 따라 자라면서 태양광시스템에 영향을 미치게 될 수 있으므로, 규칙적인 주의 및 관리가 필요하다.

전체적인 음영 뿐 아니라 전선이나 나뭇가지 등으로 인한 부분적인 음영이 드리우는 경우에도 그것은 전체 스트링의 발전량을 결정하게 되어 전체 발전량에 영향을 미치게 되므로, 특히 주의해야 한다.

다음 <표 3.3>⁴³⁾은 PV 셀에 생기는 음영과 모듈의 발전 성능과의 관계를 표로 정리한 것이고, (그림 3.3)⁴⁴⁾은 그림으로 나타낸 것이다.

<표 3.3> PV 셀에 생기는 음영과 모듈의 발전 성능과의 관계

셀 한 개에 생기는 음영 비율	모듈의 성능 저하 비율
0%	0%
25%	25%
50%	50%
75%	66%
100%	75%
3 cells shaded	93%



(그림 3.3) PV 셀의 음영과 모듈의 발전 성능과의 관계

43) Solar Energy International, "Photovoltaics : Design and Installaion Manual", 2004.8, New Society Publishers, p.55

44) Ibid.

(3) PV 모듈 온도와 발전성능의 문제

PV 모듈은 태양 복사를 받아 전기를 생산하지만 전기로 변환되지 못한 태양복사에너지는 열로 변환되어 PV 모듈의 온도를 상승시킨다. 특히 현재 보급되고 있는 태양전지의 대부분을 차지하고 있는 결정계 태양전지의 경우 온도 상승에 따른 효율 감소 경향이 더 크다.

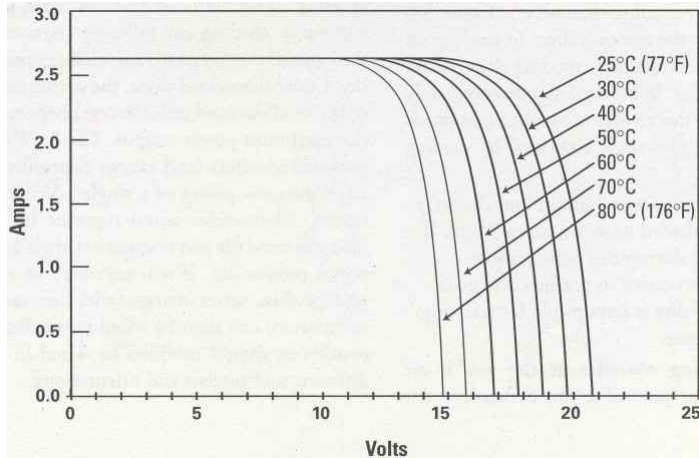
기존의 독립형 PV 시스템에서는 후면 배기가 자유롭기 때문에 온도에 따른 발전효율 저하의 문제가 큰 관심사항이 아니었으나, 건축 자재화되는 BIPV의 경우 설계 방법에 따라 큰 온도 차이를 보일 수 있기 때문에 온도에 따른 발전 성능의 문제는 매우 중요한 설계 고려 요소이다.

건물 외피에 부착된 PV 모듈의 온도는 높은 일사조건에서 주변 온도보다 20~40℃ 이상 상승한다. 일반적으로 태양전지의 온도가 1℃씩 상승할 때마다 발전량은 0.4~0.5%씩 감소한다.⁴⁵⁾ 따라서 PV 모듈의 건축 외장재로 결합시키는 경우 필히 효율적으로 열을 분산시킬 수 있는 방법에 대한 설계적 디테일 개발이 필요하다. 건축물 외피에 결합된 PV 모듈의 온도 상승에 따른 배열 문제는 동절기 난방성능 및 하절기 냉방성능과도 연계됨에 따라 열적인 문제와 전기적 문제를 복합적으로 고려해야 하는 매우 복잡한 고려요소이다.

다음 (그림 3.4)⁴⁶⁾은 PV 모듈의 온도와 발전 성능과의 관계를 나타낸 것이다.

45) 윤종호, 김재웅, “후면환기조건에 따른 건물외피용 태양광발전(BIPV) 모듈의 열적 영향에 관한 연구”, 한국태양에너지학회논문집, 2006.3

46) Solar Energy International, “Photovoltaics : Design and Installaion Manual”, 2004.8, New Society Publishers, p.57



(그림 3.4) PV 모듈의 온도와 발전 성능과의 관계

(4) 건물과의 조화성

태양광시스템의 확산을 위해서는 무엇보다 건물과의 조화가 중요하다. 즉, 전력을 생산해내는 기능적인 부분 이외에 건물의 마감 재료를 대체한다는 요소로서 건물의 가치를 높일 수 있는 의장성 및 경제성이 반드시 고려되어야 한다.

일반적인 태양전지의 색상은 청색 또는 진한 청색 및 흑색이 대부분이지만, 필요에 따라 다양한 색상의 태양전지도 제작 가능하다. 태양전지의 효율은 청색 계열에서 최대의 효율을 나타내며, 그 외의 색상에서는 kW당 비용이 급속히 증가한다. 현재 가능한 색상 종류는 회색, 녹색, 적황색 및 황색 계열이다.

모듈의 형태 또한 색상에 의해 큰 영향을 받으며, 프레임이 없는 모듈의 경우 매우 균일한 이미지 효과를 연출할 수 있다. 한편 프레임의 색상 및 형태를 효과적으로 활용한 경우 또 다른 강조 이미지를 제공할 수 있는 건축적 언어로 활용될 수 있다.

한편 PV 모듈을 건물에 일체화시키는 통합 수준 또한 건물의 전체적 이미지를 결정하는데 매우 큰 영향을 미친다. 건축 설계와 PV 시스템 설계는 상호 영향관계에 있으며, 이들의 통합 수준을 어떠한 단계로 하느냐에 따라 결과는 크게 달라질 수 있다. 예를 들어 완전 건물일체형 BIPV 시스템을 의도할 경우 최종 건물에서 PV 모듈은 건물 지붕이나 파사드에 부착된 건축 마감재와 같이 보일 것이며, 반대로 PV 모듈을 건물의 디자인 요소로 고려하지 않을 경우 안테나나 굴뚝을 위치시키듯 건물에 부가시키면 될 것이다.

3.1.3 태양열시스템 적용을 위한 기술적 고려 요소

(1) 집열기의 최적 설치 각도

집열기의 향 및 경사도는 집열기에 떨어지는 일사량의 양과 직접적인 연관이 있다. 일반적으로 특정 지역의 기상조건 등에 따라서 약간의 차이가 있을 수는 있으나 우리나라와 같은 북반구에서는 정오에 직접 일사량의 강도가 가장 크기 때문에 집열기는 정남으로 향하여야 일사량을 많이 받을 수 있다. 따라서 집열기의 향은 가능한 정남향으로 하되 불가피한 경우 정남에서 $\pm 15^\circ$ 이내에서는 전체적으로 받는 에너지 양의 큰 차이는 없다. 정남에서 서쪽으로 15° 벗어나면 최고 강도를 받는 시간이 한 시간 늦어진다. 집열기를 남쪽보다 동쪽으로 향하게 하면 오전에 집열량이 증가된다.

또한 경사각에 따라서도 일사량에 많은 차이를 나타내기 때문에, 경사각은 연중 사용하는 경우와 하절기에 태양열을 많이 받아야 할 분야에 대해서는 위도와 같게, 주로 동절기에 집열량을 많이 받아야 할 분야에서는 위도보다 더 높은 경사각을 사용(위도 $+15^\circ$ 정도)한다.

따라서 집열기의 설치하는 경사각 및 방위각이 적절히 조화를 이루어야 집열면에 많은 일사를 받도록 할 수 있다.

(2) 집열기의 크기

태양열시스템의 규모는 열 부하의 몇 %를 태양열로 감당할 것인가에 의해 결정된다. 집열기의 크기는 사용온수부하로부터 구할 수 있으며, 태양열 집열면적과 태양 의존율과의 관계를 일반적으로 정비례하지 않는다. 즉, 태양열 집열기 10m^2 로 30% 감당할 경우 태양열 집열 면적을 2배인 20m^2 로 늘릴 경우 태양 의존율은 60%가 되지 않고 이보다 크게 줄어들게 된다. 이것은 태양열 집열기 면적이 늘어날수록 시스템 효율이 감소되기 때문이다. 따라서 태양열 난방인 경우는 약 50% 내외, 온수 급탕인 경우는 60~70% 내외로 하는 것은 바로 이러한 이유 때문이다.

(3) 축열조의 크기

저녁이나 집열이 되지 않는 흐린 날이 계속될 때에도 에너지가 필요하기 때문에 축열이 필요하다. 태양에서 방출되어 집열기에 의해 모아진 에너지가 사용 시점에서 요구하는 양을 넘을 때, 축열조에 열을 저장시킨다. 열 저장은 태양열 보조에 의한 온수 급탕을 위해서도 필요하다. 건물의 사용 스케줄에

따른 온수부하⁴⁷⁾ 분포에 따른 경제적인 축열조의 크기는 다음 <표 3.4>⁴⁸⁾와 같이 결정할 수 있다.

<표 3.4> 온수부하 분포에 따른 경제적인 축열조 크기

부하 분포	최소 축열조 크기(ℓ / m^2)
7일/주 (일정한 주간 부하)	20.4~28.6
5일/주 (일정한 주간 부하, 주말 부하 없음)	40.8
일정한 야간 부하	71.4~81.6

47) 사용 온수부하는 급탕이나 난방에 필요한 열에너지의 크기를 말하며 일사량은 경사면 일사량을 기준으로 한다.

48) 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004

3.2 지열 히트펌프 시스템 적용을 위한 고려 요소

지열 히트펌프 시스템을 최적으로 설계하기 위하여 적용 건물의 냉난방 부하를 정확하게 계산해야 되는 것은 물론, 지중 열 교환기 매설 지역의 토양의 성질, 그라우트의 열 물성치, 보어홀 간격 등과 같은 다양한 변수를 고려하여야 한다. 시스템을 설치하고자 하는 장소의 토양 및 그라우팅의 열 물성치에 대한 정확한 자료 없이 지중 열 교환기를 설계할 경우 실제 필요한 용량보다 과다하게 설계될 수 있으며, 이는 초기 시공비용의 증가를 초래하게 된다.⁴⁹⁾

또한, 지열 히트펌프 시스템을 설계할 때 지중 열 교환기의 장기간 운전에 따른 지중 온도 변화와 지중 열 교환기 순환수(부동액) 누설이 지중 환경에 미치는 영향 등을 고려하여야 한다. 아울러 그라우팅 재료 사용에 대한 법적 기준을 검토하여 시스템 설치 예정 지역에 적합한 지중 열 교환기를 시공하여야 한다.⁵⁰⁾

지중(토양 또는 암반)과 지중 열 교환기 사이의 열 전달에 영향을 미치는 요인으로는 지중 열 교환기의 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 수분 함량의 변화 등과 같이 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 따라서 지중 열 물성치에 대한 정량적인 데이터 확보는 시스템을 최적으로 설계하는 데에 매우 중요하다.

그러나 지열시스템은 태양광 및 태양열시스템과는 달리 사람들의 눈에 보이지 않는 지중에 매설되기 때문에, 기후나 의장성을 고려할 필요가 없으므로 건축적으로 고려하여야 할 요소들이 거의 없는 것을 알 수 있다.

49) 조정식 외 5명, “지중 열교환기 전열성능 향상을 위한 뒤채움재(grouting material) 조성에 관한 연구”, 산업자원부, 2006.5, pp.31~32

50) Den Braven, K. R., “Regulations on grouting for closed-loop ground-coupled heat pumps in the united states”, ASHRAE Trans., Vol.106, 2000, pp.447~452

3.3 공동주택단지에서 신재생에너지 시스템 적용을 위한 계획 프로세스

단위 세대 건축 및 공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용하는 데 있어서 기존 설계 방법과 통합시키는 것이 중요하며, 따라서 계획 단계에서부터 통합적인 설계가 진행되어야 한다. 또한 시스템의 효과를 높이기 위해서는 건물의 부하를 최소화시킬 수 있는 계획 방법을 고려하여야 한다.

신재생에너지 시스템이 에너지 절감의 기능 뿐 아니라 건축 설계 요소의 일부로서 인식되어야 하며, 따라서 설계 초기 단계에서부터 단지계획, 주동계획 및 외관계획과 함께 고려하여야 한다. 또한, 이러한 통합적인 설계를 위하여 건축주와 거주자, 설계자, 환경 및 설비 기술자, 시공 기술자 간의 의견 교류 및 협력관계를 유지하여야 한다.

공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용하기 위한 프로세스를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

(1) 목표 설정

사용자와 건축 설계자, 신재생에너지 시스템 설계자, 시공 기술자 사이의 상호 협의를 통해 이용 목표를 설정하고, 거주자에게 신재생에너지 이용의 목적 및 효과를 제시하여 충분히 이해시켜야 한다. 초기 단계에서는 시스템의 적용 유무와 타당성에 관한 대략적인 목표를 설정하고 보다 구체적인 성능 목표는 현황 분석을 통해 기본 설계 단계에서 결정한다.

(2) 현황 분석

현황 분석 단계에서는 신재생에너지 시스템의 적용을 위한 대지 및 기후의 특성이 보다 상세하게 분석되어야 한다. 신재생에너지 시스템의 적용 가능성 및 위치, 규모를 산정하기 위하여 일조시간, 음영 분석, 일사량 및 토양의 성질 등에 대한 상세한 분석이 필요하다. 이 과정에서 신재생에너지 시스템의 적용 가능성이 결정되며 난방부하와 급탕부하, 조명부하와 같은 건물의 부하 특성을 분석함으로써 경제성 타당성도 검토할 수 있다.

정확하고 신뢰성 있는 검토를 위해서는 정밀 해석 프로그램 등을 이용하여 기후 및 지역의 특성 분석이나 기존 건물의 에너지 소비 특성을 상세하게 분석할 필요가 있다.

(3) 기본계획 및 설계

초기 설계 목표와 현황 분석을 종합하여 신재생에너지 시스템을 통해 설정하고자 하는 구체적인 목표를 설정한다. 대상 건물에 적용이 가능한 각각의 신재생에너지 기술을 파악하여 각 시스템에 영향을 미치는 건축적 요인들과 영향을 받는 설계 변수들을 종합적으로 분석한다. 그 후 신재생에너지 시스템의 규모, 설치 방법 및 성능에 영향을 미치는 설계 요소들을 결정한다.

다양한 대안을 모색하여 가장 효과적인 설계 대안을 설정한다. 최적 설계안의 결정에는 건축물과의 통합성, 에너지 절감, 환경성 및 경제성 등의 요소를 고려하여 결정한다. 이 단계에서 보다 타당한 결정을 위하여 설계 대안의 정량적인 평가를 개략적으로 수행할 수 있다.

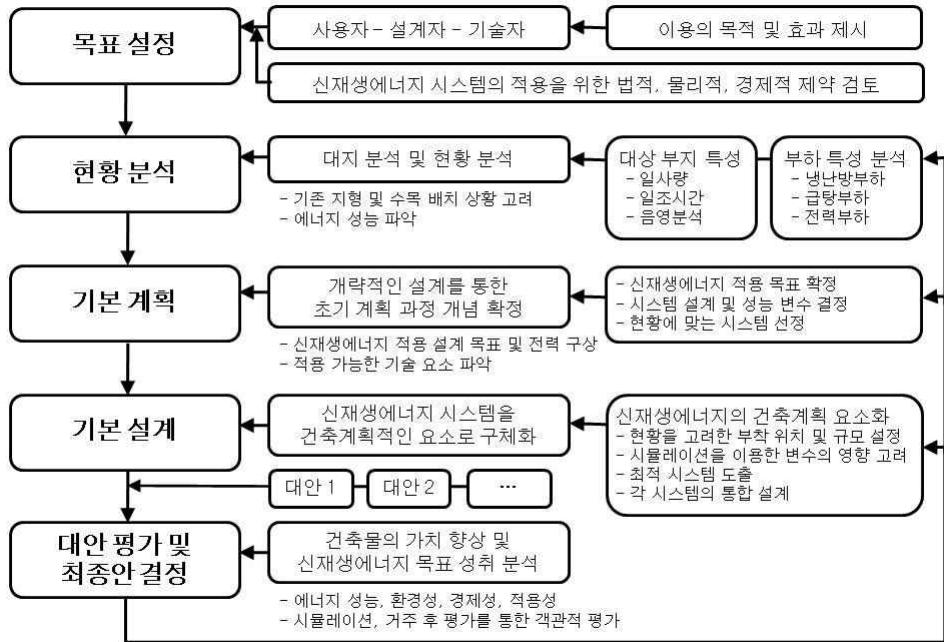
기본계획에서 결정된 초안을 바탕으로 신재생에너지 시스템을 건축 계획적인 요소로서 구체화하는 과정이다. 시스템의 부착 위치, 규모 설정 시에 대상지에 맞도록 변수들을 조합하여 대안을 제시한다. 개별 건축물과는 달리 에너지의 저장 및 운송에 관한 내용에 대한 고려가 포함되어야 한다.

이 때 각 변수들의 상호 영향을 고려한 시뮬레이션을 이용하여 설치 위치 및 면적, 기타 부품을 선택하고, 이를 통해 최적의 시스템을 도출한 후, 에너지 사용, 쾌적감, 비용, 환경적 영향, 미적 요소 등을 여러 각도에서 고려하여 각기 다른 성격의 시스템을 통합적으로 계획한다. 특히 신재생에너지 시스템 계획에 의한 기술적 해결 방법이 건물 디자인 요소와 통합될 수 있도록 건축 설계자, 시스템 설계자와 시공 기술자 사이의 긴밀한 협력이 요구된다. 이 단계에서는 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램 등을 이용하여 보다 상세하게 각 시스템의 성능을 평가한다.

(4) 대안 평가 및 최종안 결정

기본 설계 단계에서 제안된 몇 가지 대안들을 평가하여 최적안을 결정하는 단계이다. 각 설계 대안을 분석하여 시스템의 성능을 평가하고 시스템의 에너지 사용 절감율을 산정하여 건물의 에너지 성능 개선 수준을 비교·평가한다.

최적안의 결정에는 초기에 설정한 설계 목표와 에너지 성능 개선, 건축적인 요소로서의 통합성, 외관 향상, 환경 개선, 경제성 등을 통합적으로 고려하여 선택한다. 이 과정에서 설계 목표 성능에 못 미치는 결과가 나올 경우, 기본 계획 및 설계 과정으로 되돌아가 피드백이 이루어질 수도 있다.



(그림 3.5) 공동주택단지의 신재생에너지 시스템 적용을 위한 계획 프로세스

제 4 장 공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템의 에너지 성능 평가

본 장에서는 실제 공동주택단지를 대상으로 사례 연구를 실시함으로써 공동주택단지 내에서 신재생에너지 시스템의 적용 가능성을 검토하고 계획과정상에서 필요한 설계 데이터를 제시하고자 하였다. 사례 연구 범위는 기본 설계 단계까지로 한정하고 신재생에너지 시스템의 성능을 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 평가함으로써 시스템의 설계 전과 후의 공동주택단지의 에너지 성능 개선을 정량적으로 확인하였다.

4.1 사례 단지의 신재생에너지 적용의 목표 및 범위 설정

본 장에서는 공동주택단지 한 개를 선정하여 신재생에너지 시스템을 최대한 적용할 수 있는 설계 대안을 제시하고자 하였으며, 기본 설계 목표 및 범위는 다음과 같다.

1. BIPV 시스템의 적용 : 태양전지를 모듈화한 태양광시스템을 건축물에 통합하여 적용함으로써 전력 부하 일부를 담당
2. 설비형 태양열시스템의 적용 : 옥상에 급탕용 태양열시스템을 적용하여 대상 주동의 급탕 부하를 담당
3. 지열시스템의 적용 : 건축물 지하에 지열시스템을 적용하여 냉난방부하의 일부를 담당

4.2 사례 단지의 현황 분석

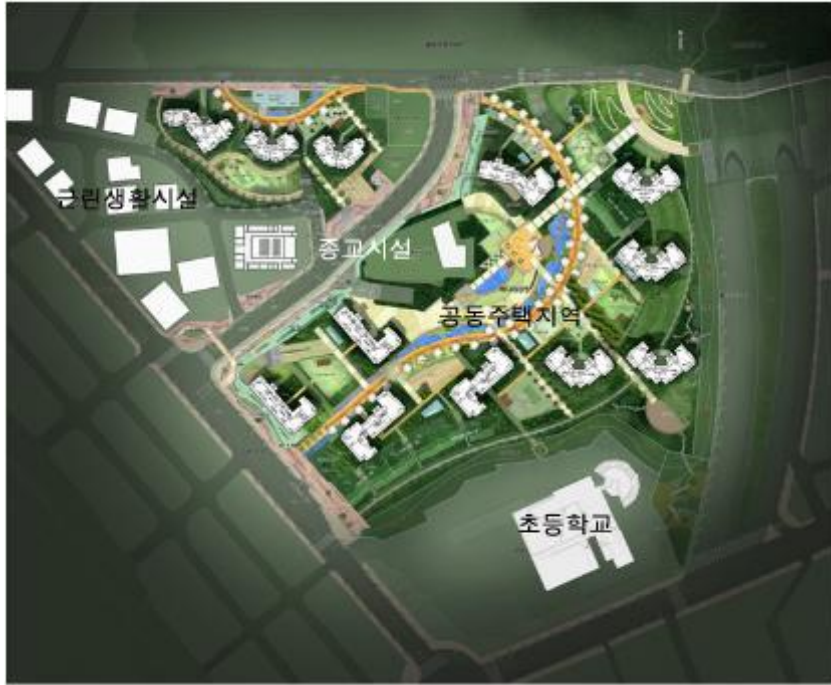
4.2.1 단지의 개요

사례로 선정한 단지는 노후된 기존의 도심을 재개발하려는 프로젝트로 인천시 동구 송림동의 제3종 일반주거지역에 건설될 예정이다. 총 규모는 113,934㎡(약 34,525평)이며, 공동주택은 39㎡(약 12평) 126세대, 59㎡(약 18평) 313세대, 67㎡(약 20평) 131세대, 84㎡(약 25평) 692세대, 117㎡(약 35평) 127세대로 총 1,389세대가 입주할 예정이다. 또한 연면적 4,525㎡(약 1,371평)의 일

반 상업건물과 연면적 2,891㎡(약 876평)의 초등학교를 건설할 예정이다.

<표 4.1> 대상 단지 설계 개요

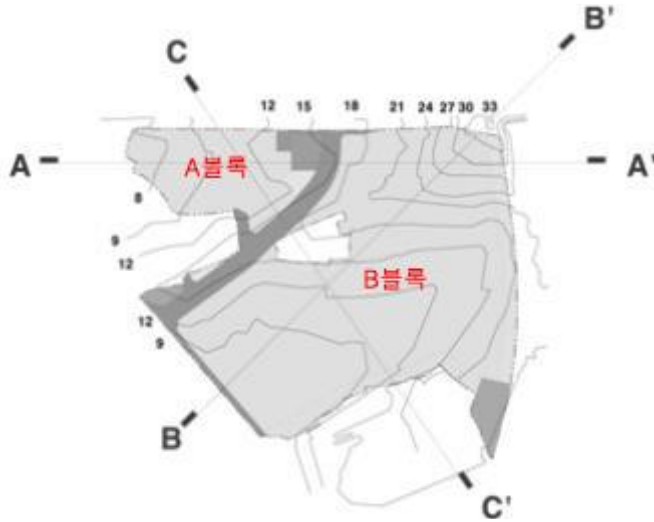
구 분	건축계획 내용			
위 치	인천시 중구 송림동 158번지 일대			
용도지역	제3종 일반주거지역			
건축면적	113,934㎡(약 34,525평)			
연 면 적	190,303.541㎡			
건 폐 율	13.143%			
각 건물 개요	구 분	세대 수/층수	바닥면적(㎡)	
	공동주택	39㎡	126세대	4,914.00
		59㎡	313세대	18,467.00
		67㎡	131세대	8,777.00
		84㎡	692세대	58,128.00
		117㎡	127세대	14,859.00
		소 계	1,389세대	105,145.00
	종교시설	교회	1층	837.47
		성당	3층	534.54
		소 계	-	1,372.01
	상업용 건물	1	10층	496.87
		2	8층	334.92
		3	8층	299.92
		4	12층	292.82
		5	12층	263.19
		6	6층	276.91
		7	5층	337.31
		8	5층	284.35
		9	12층	513.48
		10	10층	476.34
		11	12층	949.30
		소 계	-	4,525.41
	초등학교		5층	2,891.96
합 계			113,934.38	



(그림 4.1) 대상 단지의 계획안



(그림 4.2) 대상 단지의 조감도



(그림 4.3) 대상 단지의 레벨 현황

대상 단지는 주로 남향을 나타내며, 동고서저 및 북고남저로 배치하였다. A블록에서 A-A'에는 약 5.6m(4.00%), C-C'에서는 약 1m의 레벨 차를 나타내고 있었다. B블록에서는 A-A'에서 약 15m(11.00%), B-B'에서는 27.4m(8.83%), C-C'에서는 약 6m(5.04%)의 레벨 차가 있는 것을 알 수 있었다.

남쪽에 학교시설, 중심부에 종교시설이 위치하고 있고, 그 외 주변은 5~12층의 상업용 건물로 이루어졌다.

4.2.2 신재생에너지 시스템 이용을 위한 현황 분석

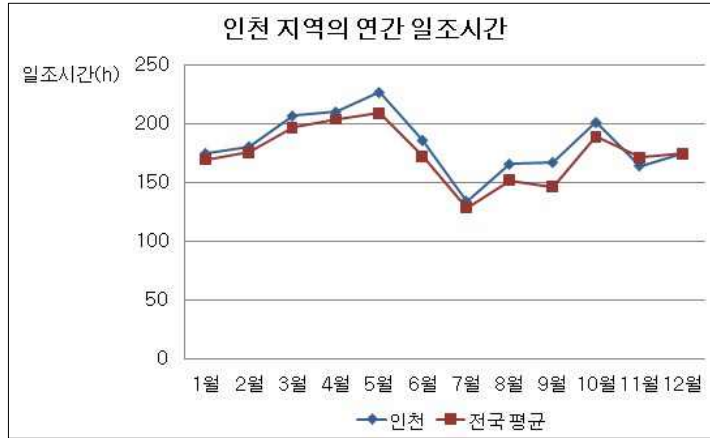
(1) 일사 분석

태양광 및 태양열시스템의 적용을 위한 기초 데이터를 제공하기 위하여 단지 내 일사 특성을 분석하였다. 대상 단지가 위치한 인천 지역(위도 37.29°, 경도 126.38°)의 일조시간 및 일사량을 분석하고 대상 단지에 주변 건물이나 식생 또는 인공 설치물에 의한 음영이 생기는지의 여부를 분석하였다.

① 인천 지역의 일조시간

1999년에서 2007년까지 9년간의 자료를 근거로 한 인천 지역의 월평균 일조시간은 (그림 4.5)와 같다. 인천 지역은 연간 총 일조시간이 2,186.9시간으로

전국 평균 총 일조시간인 2,086.8시간보다 긴 것으로 나타났다.



(그림 4.4) 인천 지역의 연간 일조시간

② 일사량

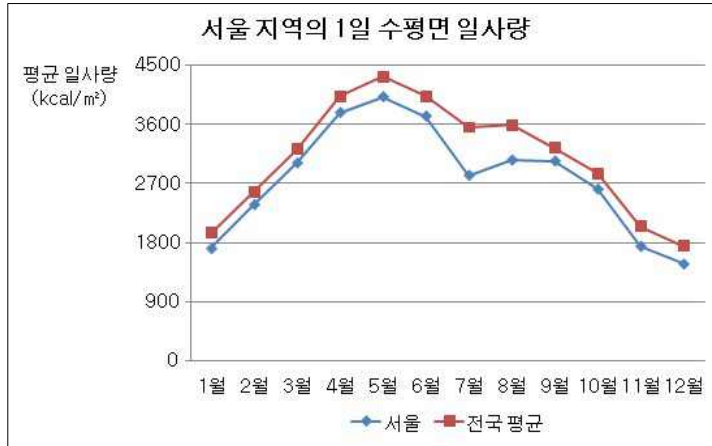
<표 4.2>⁵¹⁾는 국내 주요 도시의 월별 평균 일사량을 보여준다. 한국에너지기술연구원에서 1982년부터 2004년까지 23년간 실측한 자료이다.

<표 4.2> 전국 주요 도시의 월별 연평균 1일 수평면 일사량(1982~2004)
(단위 : kcal/m² day)

지역	월별												평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
서울	1,710	2,378	3,011	3,776	4,016	3,722	2,822	3,055	3,039	2,612	1,745	1,475	2,780
강릉	2,056	2,586	3,179	3,994	4,283	3,902	3,470	3,273	3,065	2,724	2,036	1,834	3,034
대전	1,951	2,641	3,305	4,148	4,314	3,980	3,602	3,627	3,277	2,887	2,028	1,752	3,126
광주	1,992	2,637	3,319	4,103	4,353	3,965	3,585	3,700	3,415	3,049	2,138	1,786	3,170
제주	1,245	1,996	2,844	3,855	4,262	4,034	4,202	3,878	3,227	2,834	1,914	1,300	2,966
대구	2,029	2,600	3,288	4,037	4,311	3,987	3,525	3,378	3,048	2,761	2,066	1,852	3,074
부산	2,212	2,763	3,226	3,901	4,219	3,916	3,636	3,702	3,105	2,928	2,296	2,026	3,161
평균	1,935	2,565	3,219	4,028	4,323	4,021	3,552	3,579	3,235	2,849	2,034	1,738	3,090

51) 산업자원부, “한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구”, 2006.5, p.13

대상 단지가 위치한 인천 지역은 자료에 명시되어 있지 않기 때문에 가장 근접한 서울 지역의 자료를 이용하여 계산하였다. 연 평균 일사량은 2,780kcal/m²으로 전국 평균 일사량인 3,090kcal/m²보다 적은 것으로 나타났다.



(그림 4.5) 서울 지역의 연간 1일 수평면 일사량

③ 음영 분석을 통한 설치 가능 지역의 분석

현행 관련법에서 제시하고 있는 일조량에 관련된 사항은 “동지를 기준으로 오전 9시부터 오후 3시 사이에 2시간 이상을 계속하여 일조를 확보할 수 있는 거리”⁵²⁾에 대한 조항을 둬으로써 건축물 상호간의 이격거리 및 건축물의 높이 제한을 규정하고 아파트 각 세대별로 거주에 필요한 일조량을 확보할 수 있도록 하고 있다. 이는 주거환경의 기준으로 제시되는 최소한의 일조량 이므로 주동의 모든 세대에 태양광 발전 시스템을 적용하기에는 무리가 있다. 안정적으로 태양광 발전 시스템을 사용하기 위해서는 태양고도가 제일 낮은 동지를 기준으로 오전 9시부터 오후 4시까지 고정적으로 태양빛이 확보되어야 한다.⁵³⁾

다음 (그림 4.6)의 동 구분에 따라 Ecotect v5.50을 이용하여 춘·추분, 하지, 동지를 기준으로 9~17시까지를 한 시간 간격으로 대상 단지의 음영을 예측한 결과를 종합하여 <표 4.3>에 나타내었다. 건물의 입면을 각 층별, 2m 단위로 모듈을 나누어 9시부터 17시까지 1시간 간격으로 면적의 50% 이상 음영이 지는 시간을 검토하여 PV 모듈 및 집열판 설치가 가능한 면적을 나

52) 법적근거 : 건축법 53조, 건축법 시행령 86조

53) 최기환 외 3명, “고층아파트에서의 태양열 이용시스템 적용 가능성 및 전망”, 태양에너지(한국태양에너지학회지), v.1 n.1, 2002.4

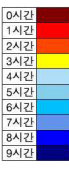
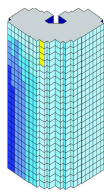
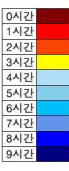
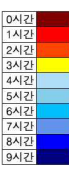
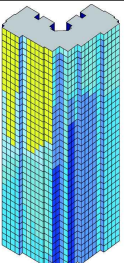
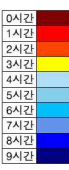
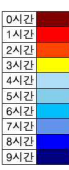
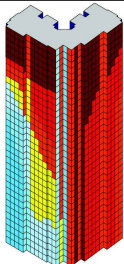
타내었다.

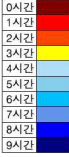
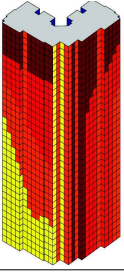
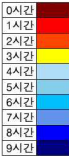
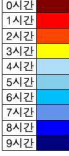
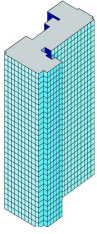

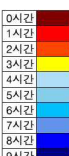
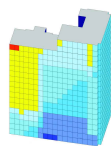


(그림 4.6) 대상 단지의 동 구분

<표 4.3> 대상 단지의 음영 분석

	인텍스	음영도(남측)	음영시간	면적(m ²)
101동			0시간	-
			1시간 미만	-
			2시간 미만	-
			3시간 미만	18.00
			4시간 미만	348.00
			소 계	366.00
			102동	
1시간 미만	-			
2시간 미만	-			
3시간 미만	234.00			
4시간 미만	258.00			
소 계	492.00			

	인 텍스	음영도(남측)	음영시간	면적(m ²)
103동			0시간	-
			1시간 미만	-
			2시간 미만	-
			3시간 미만	30.10
			4시간 미만	1,751.00
			소 계	1,781.10
			201동	
1시간 미만	-			
2시간 미만	186.00			
3시간 미만	690.00			
4시간 미만	20,186.00			
소 계	21,062.00			
202동				
			1시간 미만	-
			2시간 미만	-
			3시간 미만	934.20
			4시간 미만	360.60
			소 계	1294.80
			203동	
1시간 미만	972.00			
2시간 미만	-			
3시간 미만	-			
4시간 미만	-			
소 계	3,699.00			
204동				
			1시간 미만	66.00
			2시간 미만	1,002.00
			3시간 미만	1,728.00
			4시간 미만	-
			소 계	2,796.00

	인 텍스	음영도(남측)	음영시간	면적(m ²)
205동			0시간	-
			1시간 미만	534.00
			2시간 미만	912.00
			3시간 미만	774.00
			4시간 미만	-
			소 계	2,220.00
			206동	
1시간 미만	-			
2시간 미만	-			
3시간 미만	1,471.00			
4시간 미만	1,417.00			
소 계	2,888.00			
207동				
			1시간 미만	-
			2시간 미만	-
			3시간 미만	-
			4시간 미만	1,354.00
			소 계	1,354.00
			208동	
1시간 미만	-			
2시간 미만	-			
3시간 미만	1,130.31			
4시간 미만	-			
소 계	1,130.31			
209동				
			1시간 미만	-
			2시간 미만	12.60
			3시간 미만	485.10
			4시간 미만	355.77
			소 계	853.47

(2) 기존 자료를 이용한 부하 특성 예측

① 난방부하의 산정

난방부하는 개량 BIN법을 사용하여 아래 (수식 4.1)을 이용하여 계산하였다.

$$q_L = \sum \left[\frac{q_h \times A_h \times T_h (t_b - t'_o)}{(t_b - t'_o)} \right] \quad (\text{수식 4.1})$$

q_L : 실제 난방부하(Gcal/년) t_i : 설계 실내온도(°C)
 q_h : 난방 단위 열 부하(kcal/m² h) t_o : 설계 외기온도(°C)
 A_h : 난방 면적(m²) t'_o : 실제 실내온도(°C)
 T_h : 난방시간(hr) t_b : 평형점 온도(16°C)

공동주택은 각 세대별 면적에 따라 필요한 난방부하를 계산하였고, 비주거용 건물은 다음에 정리한 표에 따라 난방부하를 계산하였다. 인천 지역, 난방 온도 20~22°C를 기준으로 하였으며⁵⁴⁾, 난방 면적율은 80%로 가정하였다. 다음 <표 4.4>⁵⁵⁾는 난방 시간과 월간 난방 일수를 정리한 것이고, <표 4.5>⁵⁶⁾는 건축물의 용도 별로 난방 면적율을 정리한 것이며, <표 4.6>⁵⁷⁾은 건축물의 단위 난방부하를 나타내었다.

<표 4.4> 난방 시간 및 월간 난방 일수

구 분	난방 시간	월간난방일수	비고
주택	24시간	30(31)일	전 일 수
종교시설	9시간(9~18시)	12(13)일	주 4회 휴무
교육시설	9시간(9~18시)	25일	주 1회(방학기간 휴무)
근린생활시설	12시간(9~21시)	25일	주 1회 휴무

54) 법적근거 : 건축물의 에너지절약설계 기준, 2008.11 개정

55) 에너지관리공단, “에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서”

56) Ibid.

57) 법적근거 : 에너지이용합리화법, 2008.2 개정

<표 4.5> 건물 용도별 난방 면적율

구 분		난방 면적율(%)	구 분	난방 면적율(%)
공동 주택	60m ²	80	종교시설	80
	60~85m ²	80	교육시설	80
	85m ²	80	근린생활시설	80

<표 4.6> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 난방부하(단위 : kcal/m²·h)

구 분		단위 난방부하
공동 주택	60m ² 초과	49.00
	45~60m ² 이하	51.40
	33~45m ² 이하	52.40
	33m ² 이하	53.90
종교시설		135.00
교육시설		115.00
근린생활시설		110.00

<표 4.7>은 각 세대별 면적 및 세대 수에 따른 난방부하 결과를 나타낸다.
 <표 4.8>은 비주거용 건물 중 종교시설과 교육시설의, <표 4.9>는 비주거용
 건물 중 근린생활시설의 난방부하 예측 결과를 나타낸다.

<표 4.7> 공동주택 단위 세대 면적별 난방부하

(단위 : Gcal)

	26(m ²)	59(m ²)	67(m ²)	84(m ²)	117(m ²)	합계
1월	99.1	390.8	177.0	1,172.5	299.7	2,139.2
2월	79.8	314.4	142.5	943.5	241.2	1,721.3
3월	66.8	263.4	119.4	790.5	202.1	1,442.2
4월	34.3	135.3	61.3	406.0	103.8	740.6
5월	10.7	42.1	19.1	126.2	32.3	230.2
6월	-	-	-	-	-	-
7월	-	-	-	-	-	-
8월	-	-	-	-	-	-
9월	0.1	0.3	0.1	0.9	0.2	1.7
10월	17.9	70.5	31.9	211.4	54.0	385.7
11월	54.9	216.4	98.1	649.4	166.0	1,184.7
12월	88.8	349.9	158.5	1,049.8	268.4	1,915.3
합계	452.3	1,783.0	807.9	5,350.3	1,367.7	9,761.1

<표 4.8> 종교시설 및 교육시설의 난방부하

(단위 : Gcal)

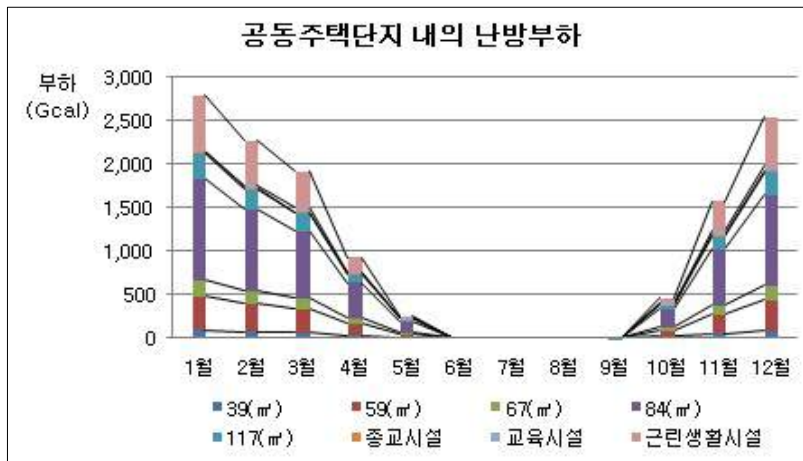
	종교시설			초등학교
	교회	성당	소계	
1월	6.8	9.4	16.2	-
2월	6.0	8.3	14.4	27.1
3월	4.8	6.6	11.4	46.4
4월	1.8	2.4	4.2	18.5
5월	0.2	0.2	0.4	1.1
6월	-	-	-	-
7월	-	-	-	-
8월	-	-	-	-
9월	-	-	-	-
10월	0.6	0.8	1.4	6.8
11월	3.7	5.1	8.8	39.9
12월	6.8	9.3	16.0	49.9
합계	30.7	42.2	72.9	189.7

<표 4.9> 근린생활시설의 난방부하

(단위 : Gcal)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	합계
1월	70.0	37.7	33.8	49.5	44.5	46.8	23.8	20.0	86.8	67.1	160.7	640.8
2월	56.4	30.3	27.2	39.9	35.9	37.7	19.2	16.1	70.0	54.1	129.5	516.4
3월	45.3	24.4	21.9	32.1	28.8	30.3	15.4	13.0	56.2	43.5	104.0	414.8
4월	18.0	9.7	8.7	12.7	11.4	12.0	6.1	5.1	22.3	17.2	41.3	164.6
5월	1.0	0.5	0.5	0.7	0.6	0.7	0.3	0.3	1.2	0.9	2.3	9.0
6월	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7월	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8월	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9월	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10월	6.4	3.4	3.1	4.5	4.0	4.3	2.2	1.8	7.9	6.1	14.6	58.2
11월	37.4	20.1	18.0	26.4	23.7	25.0	12.7	10.7	46.3	35.8	85.7	341.8
12월	61.8	33.3	29.9	43.7	39.3	41.4	21.0	17.7	76.7	59.3	141.9	565.9
합계	296.3	159.3	143.1	209.5	188.3	198.2	100.6	84.8	367.5	284.1	679.8	2,711.4

(그림 4.7)은 대상 단지 내의 월별 난방부하를 나타낸 것이다.



(그림 4.7) 공동주택단지 내의 난방부하

연간 총 난방부하는 12,735.0Gcal이며, 12~2월이 난방부하가 가장 큰 것으로 나타났다. 주거용 건물에서 사용되는 난방부하가 9,761.1Gcal로 가장 많은 것으로 나타났으며, 종교시설 및 교육시설은 사용되는 일수가 적어 난방부하가

적은 것으로 나타났다.

② 급탕부하의 산정

난방부하와 마찬가지로 공동주택과 비주거용 건물을 분리하여 개량 BIN법을 사용하여 아래 (수식 4.2)를 이용하여 계산하였다.

$$q_D = \sum(q_w \times A_w \times T_w \times \alpha \times \beta) \quad (\text{수식 4.2})$$

q_D : 실제 급탕부하(Gcal/년) α : 월별 급탕 부하율(%)
 q_w : 단위 급탕부하(kcal/m² h) β : 시간대별 사용율(%)
 A_w : 급탕 면적(m²)
 T_w : 급탕시간(hr)

다음 <표 4.10>⁵⁸⁾은 급탕 시간과 월간 급탕 일수를 정리한 것이고, <표 4.11>⁵⁹⁾은 월별 급탕 부하율을 나타내었으며, <표 4.12>⁶⁰⁾는 시간대별 급탕 사용율을 나타내었다. (그림 4.8)⁶¹⁾은 공동주택에서의 월별 급탕 사용 패턴을 나타내고 있다.

<표 4.10> 급탕 시간 및 월간 급탕 일수

구분	급탕 시간	월간 급탕 일수	비고
주택	시간대별 사용율 고려	30(31)일	전 일수
종교시설		12(13)일	주 4회 휴무
교육시설		25일	주 1회(방학기간 휴무)
근린생활시설		25일	주 1회 휴무

<표 4.11> 월별 급탕 부하율

(단위 : %)

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
부하율	100	99	87	76	63	51	35	31	40	54	63	98

58) 에너지관리공단, “에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서”

59) Ibid.

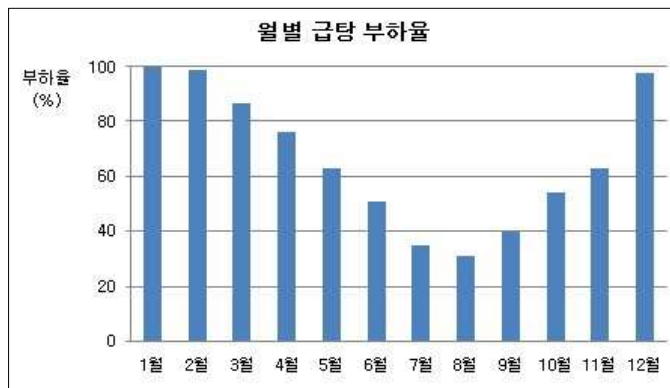
60) Ibid.

61) Ibid.

<표 4.12> 시간대별 급탕 사용율

(단위 : %)

구 분	0~3	3~6	6~9	9~12	12~18	18~21	21~24
주택	10	40	100	60	50	100	10
종교시설	0	0	0	100	100	0	0
교육시설	0	0	0	100	100	0	0
근린생활시설	0	0	0	50	100	50	0



(그림 4.8) 월별 급탕 사용 패턴

다음 <표 4.13>⁶²⁾은 건물 용도별 단위 급탕부하를 나타내었다.

<표 4.13> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 급탕부하(단위 : kcal/m² h)

구 분		단위 급탕부하
공동 주택	60m ² 초과	15.0
	45~60m ² 이하	
	33~45m ² 이하	
	33m ² 이하	
종교시설		2.0
교육시설		5.0
근린생활시설		5.0

위의 조건들을 토대로 계산한 각 건물 용도별 급탕 부하는 다음 <표 4.14>

62) 법적 근거 : 에너지이용합리화법

<표 4.15>, <표 4.16>과 같이 나타난다.

<표 4.14> 공동주택 단위 세대 면적별 급탕부하 (단위 : Gcal)

	26(m ²)	59(m ²)	67(m ²)	84(m ²)	117(m ²)	합계
1월	23.0	86.6	41.1	272.5	69.7	492.8
2월	20.6	77.4	36.8	243.6	62.3	440.7
3월	20.0	75.3	35.8	237.0	60.6	428.8
4월	16.9	63.7	30.3	200.4	51.2	362.5
5월	14.5	54.5	25.9	171.7	43.9	310.5
6월	11.4	42.7	20.3	134.5	34.4	243.2
7월	8.1	30.3	14.4	95.4	24.4	172.5
8월	7.1	26.8	12.8	84.5	21.6	152.8
9월	8.9	33.5	15.9	105.5	27.0	190.8
10월	12.4	46.7	22.2	147.1	37.6	266.1
11월	14.0	52.8	25.1	166.1	42.5	300.5
12월	22.6	84.8	40.3	267.0	68.3	483.0
합계	179.7	675.2	320.9	2,125.2	543.3	3,844.1

<표 4.15> 종교시설 및 교육시설의 급탕부하

(단위 : Gcal)

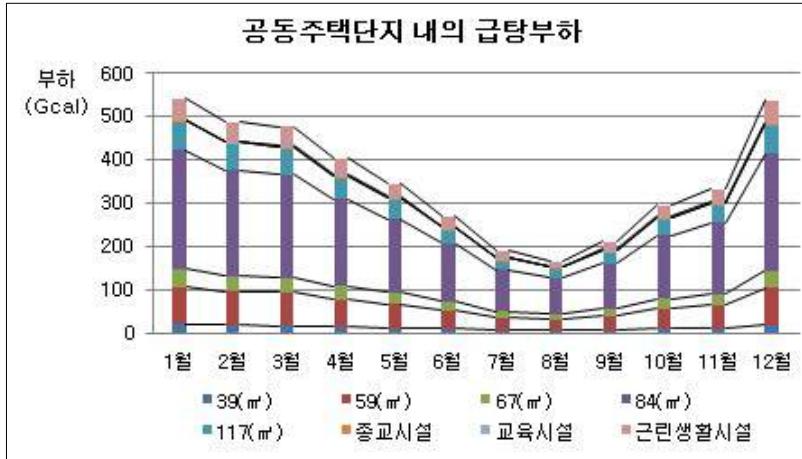
	종교시설			초등학교
	교회	성당	소계	
1월	0.2	0.2	0.4	-
2월	0.2	0.2	0.4	2.4
3월	0.2	0.2	0.4	5.5
4월	0.1	0.2	0.3	4.8
5월	0.1	0.2	0.3	4.0
6월	0.1	0.1	0.3	3.2
7월	0.1	0.1	0.2	1.8
8월	0.1	0.1	0.1	-
9월	0.1	0.1	0.2	2.4
10월	0.1	0.1	0.2	3.6
11월	0.1	0.2	0.3	4.0
12월	0.2	0.3	0.5	4.8
합계	1.5	2.1	3.7	36.7

<표 4.16> 근린생활시설의 급탕부하

(단위 : Gcal)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	합계
1월	5.5	3.0	2.7	3.9	3.5	1.9	1.9	1.6	6.9	5.3	12.7	48.9
2월	5.0	2.7	2.4	3.5	3.2	1.7	1.7	1.4	6.1	4.8	11.4	43.7
3월	4.8	2.6	2.3	3.4	3.1	1.6	1.6	1.4	6.0	4.6	11.1	42.5
4월	4.1	2.2	2.0	2.9	2.6	1.4	1.4	1.2	5.1	3.9	9.4	36.0
5월	3.5	1.9	1.7	2.5	2.2	1.2	1.2	1.0	4.3	3.3	8.0	30.8
6월	2.7	1.5	1.3	1.9	1.7	0.9	0.9	0.8	3.4	2.6	6.3	24.1
7월	1.9	1.0	0.9	1.4	1.2	0.6	0.7	0.6	2.4	1.9	4.5	17.1
8월	1.7	0.9	0.8	1.2	1.1	0.6	0.6	0.5	2.1	1.6	3.9	15.2
9월	2.1	1.2	1.0	1.5	1.4	0.7	0.7	0.6	2.7	2.1	4.9	18.9
10월	3.0	1.6	1.4	2.1	1.9	1.0	1.0	0.9	3.7	2.9	6.9	26.4
11월	3.4	1.8	1.6	2.4	2.1	1.1	1.1	1.0	4.2	3.2	7.8	29.8
12월	5.4	2.9	2.6	3.8	3.5	1.8	1.8	1.6	6.7	5.2	12.5	47.9
합계	43.3	23.3	20.9	30.6	27.5	14.5	14.7	12.4	53.6	41.5	99.2	381.3

(그림 4.9)는 대상 단지 내의 월별 급탕부하를 나타낸 것이다.



(그림 4.9) 공동주택 단위 세대 면적 별 급탕부하

연간 총 급탕부하는 4,265.8Gcal이며, 12~2월이 급탕부하가 가장 큰 것으로 나타났다. 난방부하와 마찬가지로, 주거용 건물에서 사용되는 급탕부하가 3,844.1Gcal로 가장 많은 것으로 나타났다. 종교시설 및 교육시설은 사용되는 일수가 적어 급탕부하가 적은 것으로 나타났다.

③ 전력부하의 산정

주거용 건물과 비주거용 건물의 전력부하를 산정하는 공식은 다음 (수식 4.3), (수식 4.4)와 같다.

$$\text{주거용건물} = [\text{건축물 연면적}(\text{m}^2) \times \text{전등표준부하}(\text{VA}/\text{m}^2) + \text{가산부하}(\text{VA}/\text{호})] \times \text{수용율} \div \text{부등율} \quad (\text{수식 4.3})$$

$$\text{비주거용건물} = [\text{건축물 연면적}(\text{m}^2) \times \text{전등표준부하}(\text{VA}/\text{m}^2) + \text{동력표준부하}(\text{VA}/\text{호})] \times \text{수용율} \div \text{부등율} \quad (\text{수식 4.4})$$

다음 <표 4.17>⁶³⁾은 건축물 용도별 표준 부하 밀도를 나타낸 것이고, <표 4.18>⁶⁴⁾은 공동주택의 가산부하를, <표 4.19>⁶⁵⁾는 건축물 용도별 수용을 기준

63) 에너지관리공단, “에너지사용계획 협의제도 안내”, 2006.6

64) 대한주택공사, “전기. 정보통신설계지침서”

을 나타낸 것이다.

<표 4.17> 건축물 용도별 표준 부하 밀도

구분		부하 밀도			비 고
		전등	동력	소계	
공동주택(VA/호)	60㎡ 미만	3,000	-	3,000	연립주택, 주상복합 포함
	60~85㎡	4,500	-	4,500	
	85㎡ 초과	6,000	-	6,000	
종교시설(VA/㎡)		20	40	60	
교육시설(VA/㎡)		20	40	60	
근린생활시설(VA/㎡)		60	70	130	

<표 4.18> 공동주택의 가산부하 (단위 : VA/호)

전용 면적	65㎡ 미만 (20평)	66~130㎡ (20~39평)	131~165㎡ (40~49평)	166㎡ 이상 (50평)
가산부하	1,500	2,000	2,500	3,000

<표 4.19> 건축물 용도별 수용율 기준

구 분	수용율(%)	구 분	수용율(%)
주 택	35	교육시설	40
종교시설	50	근린생활시설	60

<표 4.20>은 공동주택에서 각 세대별 면적 및 세대 수에 따른 난방부하 결과를 나타낸다. <표 4.21>은 비주거용 건물 중 종교시설과 교육시설의, <표 4.22>는 비주거용 건물 중 근린생활시설의 난방부하 예측 결과를 나타낸다.

65) Ibid.

<표 4.20> 공동주택 단위 세대 면적별 전력부하

(단위 : MWh)

	26(m ²)	59(m ²)	67(m ²)	84(m ²)	117(m ²)	합계
1월	15.4	87.2	43.4	229.3	50.1	425.5
2월	14.9	84.3	42.0	221.7	48.5	411.4
3월	13.6	77.1	38.4	202.6	44.3	375.9
4월	13.9	78.9	39.3	207.4	45.4	384.9
5월	13.1	74.3	37.0	195.2	42.7	362.2
6월	13.5	76.3	38.0	200.6	43.8	372.2
7월	14.2	80.3	39.9	211.0	46.1	391.5
8월	15.1	85.4	42.5	224.5	49.1	416.5
9월	14.3	80.8	40.2	212.3	46.4	393.9
10월	13.6	76.9	38.3	202.1	44.2	375.0
11월	14.4	81.7	40.7	214.8	47.0	398.6
12월	15.0	85.1	42.4	223.7	48.9	415.1
합계	170.9	968.4	481.8	2,545.3	556.5	4,722.8

<표 4.21> 종교시설 및 교육시설의 전력부하

(단위 : MWh)

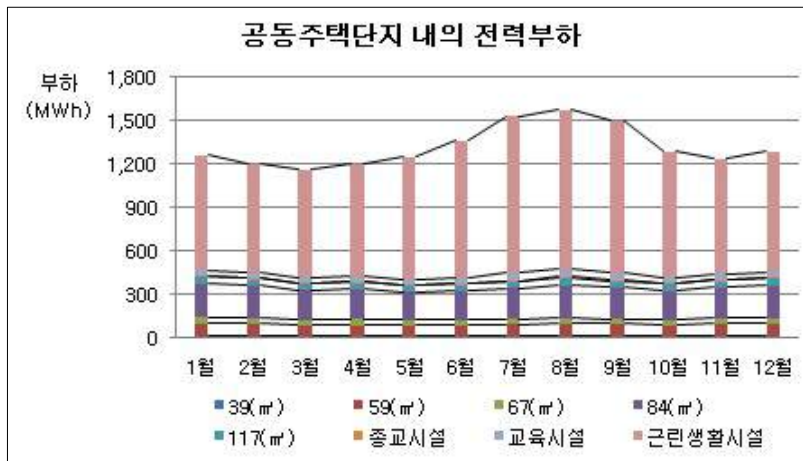
	종교시설			초등학교
	교회	성당	소계	
1월	3.2	4.3	7.5	39.4
2월	3.0	4.1	7.0	36.9
3월	3.0	4.1	7.1	37.4
4월	3.0	4.1	7.1	37.7
5월	3.2	4.4	7.6	40.0
6월	3.7	5.0	8.7	45.9
7월	4.1	5.7	9.8	51.9
8월	4.3	5.9	10.2	53.8
9월	4.0	5.5	9.4	49.8
10월	3.2	4.4	7.7	40.4
11월	3.0	4.2	7.2	38.0
12월	3.2	4.4	7.6	39.9
합계	40.8	56.1	96.9	511.0

<표 4.22> 근린생활시설의 전력부하

(단위 : MWh)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	합계
1월	89.5	48.1	43.2	63.3	56.9	29.9	30.4	25.6	110.9	85.8	205.2	788.7
2월	85.2	45.8	41.1	60.2	54.1	28.5	28.9	24.4	105.6	81.6	195.4	750.7
3월	84.2	45.3	40.7	59.5	53.5	28.2	28.6	24.1	104.4	80.7	193.2	742.3
4월	87.2	46.9	42.1	61.7	55.4	29.2	29.6	24.9	108.1	83.6	200.0	768.7
5월	95.1	51.1	45.9	67.2	60.4	31.8	32.3	27.2	117.9	91.2	218.1	838.2
6월	105.8	56.9	51.1	74.9	67.3	35.4	35.9	30.3	131.3	101.5	242.8	933.1
7월	122.6	65.9	59.2	86.7	77.9	41.0	41.6	35.1	152.0	117.5	281.2	1,080.8
8월	124.5	66.9	60.1	88.0	79.1	41.6	42.3	35.6	154.4	119.4	285.6	1,097.6
9월	119.0	64.0	57.5	84.2	75.6	39.8	40.4	34.1	147.6	114.1	273.0	1,049.1
10월	98.5	53.0	47.6	69.7	62.6	33.0	33.5	28.2	122.2	94.5	226.1	868.8
11월	90.5	48.7	43.7	64.0	57.5	30.3	30.7	25.9	112.3	86.8	207.7	798.2
12월	93.9	50.5	45.3	66.4	59.7	31.4	31.9	26.9	116.4	90.0	215.4	827.7
합계	1,196.0	643.0	577.5	845.8	760.2	399.9	406.0	342.2	1,483.1	1,146.6	2,743.7	10,544.0

(그림 4.10)은 대상 단지 내의 월별 전력부하를 나타낸 것이다.



(그림 4.10) 공동주택단지 내의 전력부하

연간 총 전력부하는 15,874.7MWh이며, 7~9월이 전력부하가 가장 큰 것으로 나타났다. 전력부하의 경우, 다른 부하와 다르게 근린생활시설에서 사용되는 전력부하가 10,544.0MWh로 가장 많은 것으로 나타났으며, 종교시설에서 전력

부하가 굉장히 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다.

④ 냉방부하의 산정

난방부하와 마찬가지로 공동주택과 비주거용 건물을 분리하여 개량 BIN법을 사용하여 아래 (수식 4.5)를 이용하여 계산하였다.

$$q_c = \sum \left[\left\{ \frac{q_r \times 0.4 \times T_h(t'_o - t_b)}{(t_o - t_i)} + (q_r \times 0.6) \right\} \times A_c \times T_c \right] \quad (\text{수식 4.5})$$

q_c : 실제 냉방부하(Gcal/년) t_i : 설계 실내온도(°C)
 q_r : 냉방 단위 열 부하(kcal/m² h) t_o : 설계 외기온도(°C)
 A_c : 냉방 면적(m²) t'_o : 실제 실내온도(°C)
 T_c : 냉방시간(hr) t_b : 평형점 온도(26°C)

공동주택은 냉방부하를 따로 산정하지 않기 때문에, 비주거용 건물만을 대상으로 아래 정리한 표에 따라 냉방부하를 계산하였다. 인천 지역, 난방 온도 26~28°C를 기준으로 하였다.⁶⁶⁾ 다음 <표 4.23>⁶⁷⁾은 냉방 시간과 월간 냉방 일수를 정리한 것이고, <표 4.24>⁶⁸⁾는 건축물 용도별 단위 냉방부하를 나타내었다.

<표 4.23> 냉방 시간 및 월간 냉방 일수

구 분	냉방 시간	월간냉방일수	비고
종교시설	9시간(9~18시)	12(13)일	주 4회 휴무
교육시설	9시간(9~18시)	25일	주 1회(방학기간 휴무)
근린생활시설	12시간(9~21시)	25일	주 1회 휴무

66) 법적근거 : 건축물의 에너지절약설계 기준, 2008.11 개정

67) 에너지관리공단, “에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서”

68) 법적근거 : 에너지이용합리화법, 2008.2 개정

<표 4.24> 서울 및 수도권, 인천 지역에서의 단위 냉방부하(단위 : kcal/m² h)

구 분	단위 냉방부하
종교시설	100.0
교육시설	100.0
근린생활시설	145.0

그러나 대상 단지 내에 위치하고 있는 교육시설과 종교시설은 연면적이 3,000m² 이하로 냉방부하 산정 대상이 아니기 때문에, 본 연구에서는 근린생활시설 중 연면적 3,000m²이 넘는 건물의 냉방부하만을 산정하였다.

다음 <표 4.25>는 근린생활시설의 냉방부하를 나타낸 것이다. 편의상 (그림 4.11)과 같이 근린생활시설에 번호를 붙여 정리하였다.



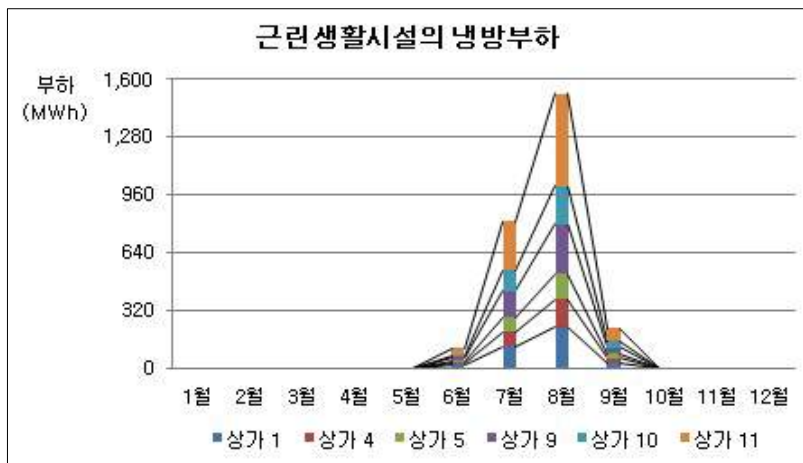
(그림 4.11) 근린생활시설

<표 4.25> 근린생활시설의 냉방부하

(단위 : MWh)

	1	4	5	9	10	11	합계
1월	-	-	-	-	-	-	-
2월	-	-	-	-	-	-	-
3월	-	-	-	-	-	-	-
4월	-	-	-	-	-	-	-
5월	-	-	-	-	-	-	-
6월	13.4	9.5	8.5	16.7	12.9	30.8	106.9
7월	102.3	72.3	65.0	126.8	98.1	234.6	813.0
8월	191.2	135.2	121.6	237.1	183.3	438.7	1,520.0
9월	27.8	19.6	17.6	34.4	26.6	63.7	220.7
10월	-	-	-	-	-	-	-
11월	-	-	-	-	-	-	-
12월	-	-	-	-	-	-	-
합계	334.7	236.7	212.8	415.1	320.9	767.9	2,660.5

(그림 4.12)는 대상 단지 내의 근린생활시설 중 연면적 3,000㎡이 넘는 건물의 냉방부하를 나타낸 것이다.



(그림 4.12) 근린생활시설의 냉방부하

연간 총 냉방부하는 2,660.5MWh이며, 연중 6~9월에만 발생하는 것으로 나타났다.

4.3 신재생에너지 시스템의 기본 계획 및 설계

4.3.1 BIPV 시스템

2.1장에서 살펴본 태양광시스템의 특성과 3.1.1절과 3.1.2절의 태양광시스템 계획을 위한 고려 요소 및 4.2절의 현황 분석을 토대로 하여 대상 단지에 적용하기에 타당한 태양광시스템을 선정하였다.

태양광시스템을 건물에 통합하여 적용하기 위해서 각 시스템의 특성에 영향을 미치는 건축적 설계 요소와 건축물에서의 설치 위치, 설치 경사각과 방위각을 고려, 분석하였다.

(1) 시스템의 선정

주거용 건물의 경우 1일 전력 부하의 사용 패턴이 전력발전 시간과 상충하기 때문에 독립형 시스템보다는 계통 연계형 시스템을 적용하는 것이 유리하다. 양방향 계통선 연계방식으로 PV 모듈을 인버터와 연결하여 PV로부터 발생된 출력이 부하가 필요로 하는 전력보다 클 경우 그 잉여전력은 계통선으로 역송전하고, 부하가 필요로 하는 전력보다 PV 모듈에서 발생된 전력이 적을 경우 부족한 전력은 계통선에서 공급받는다.

2장에서 고찰한 결과 건축물에 PV 모듈을 부착하는 방식은 벽면 및 옥상 부착 방식으로 크게 구분할 수 있으며, 그 중에서도 벽면 적용방식은 건축물의 고층화, 대형화에 따라 외벽 면적이 증가된다는 전제 하에서 PV 모듈의 설치 면적이 제한적인 옥상형 부착 방식에 비해 보다 많은 설치 용량을 확보할 수 있어 그 적용 가능성에서 우수하다.⁶⁹⁾

대상 단지의 경우 주로 남향면을 향하고 있어 벽면에도 PV 모듈을 설치할 수 있는 공간이 확보된다. 따라서 옥상에는 PV 패널을 지역의 방위각에 맞춰 설치하도록 하고, 또한 공동주택의 외피 중에서 수직 벽면에 외피 역할을 동시에 담당할 수 있도록 PV 모듈을 적용하기로 한다.

최근 태양전지의 효율, 가격, 시장 면에서 괄목할만한 진전을 보여 주고 있는 바, 현재 발전용으로 상품화 되어 있는 단결정 및 다결정 Si 태양전지의 효율은 11~13%에 이르고 있으며, 2010년도까지 15~23%에 이를 것으로 전망하고 있다.⁷⁰⁾ 단결정 태양전지의 경우 발전 효율은 높으나 그 비용이 고가이

69) 김재원 외 5명, "벽면 부착방식 PV 시스템의 건축물 적용 가능성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 2008.6, p.125

므로, 일반적으로 주택용으로서 공급되는 것은 다결정 태양전지이다. 따라서 태양전지 모듈은 다결정 모듈을 선정하였으며, 그 밖의 태양광시스템의 사양은 다음 <표 4.26>과 같다.

<표 4.26> 선정된 태양광시스템의 사양

구 분		내 용
PV 모듈	종류	Si-poly
	정격용량(Wp)	200
	개방전압(V)	53.0
	단락전류(A)	5.0
	정격전압(V)	43.6
	정격전류(A)	4.59
	크기(mm)	1,480×1,060×42
	무게(kg)	19.00
배터리	정격전압(V/cell)	2.0
	정격용량(Ah)	100
	내부 저항(mΩ)	1.0
	쿨롱 효율(%)	97.0
	크기(mm)	173×408×230
	무게(kg)	32.00
인버터	용량(kW)	3.0
	정격전압(V)	230
	주파수(Hz)	50
	최대 효율(%)	94.0
	크기(mm)	385×177×490
	무게(kg)	44.0

(2) 공동주택단지 내 BIPV 시스템 설계안 제시

벽에 부착하는 PV 모듈은 남향 벽면에 수직으로 설치하게 되므로 경사각과 방위각은 이미 결정되어 있다. 일반적으로 PV 모듈 1㎡당 약 100~120Wh

70) 홍원화 외, 대형 건축물의 태양광 발전시설 도입에 따른 경제성 및 환경성 효과 분석, 대한건축학회 논문집(계획계), v.20, n.9, 2004

의 전기를 발전할 수 있다. PV 모듈의 설치 면적은 건물의 조명 부하 일부를 담당하는 범위 내에서 입면 계획상의 특성과 통합하여 결정한다.

태양전지의 특성상 직사광선에 노출될 때 변환 효율이 가장 좋고, PV 모듈은 여러 장의 태양전지를 직렬로 연결하여 만들어졌기 때문에 PV 표면 전부 또는 일부에 그림자가 드리워 직사광선이 방해받을 경우 시스템의 발전 효율이 저하된다. 그러므로 가장 일사 조건이 좋은 시간대에 PV 설치 장소 주변의 나무 또는 건물에 의한 PV 표면에 그림자가 들지 않도록 계획되어야 한다.⁷¹⁾

따라서, PV 모듈을 벽면에 설치하기 위해서는 앞의 음영 분석을 토대로 결정해야 한다. 이에 위에서 분석한 음영 분석한 결과를 토대로 하루 중 3시간 미만으로 음영이 생기는 부분만을 선정하여 PV 모듈을 설치하기로 하였다.

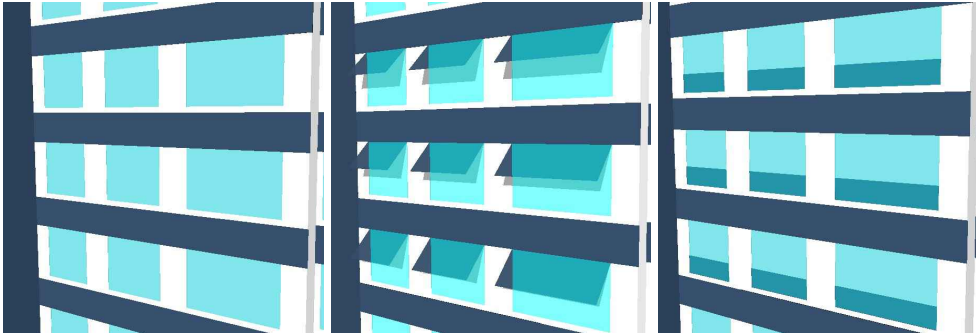
벽면에 설치하는 경우의 경사각과 방위각은 건물과 동일하게 설정하였고, 옥상에 설치하는 경우의 방위각은 0°(정남향)으로 설정하였으며, 경사각은 3.1.2절에서 언급한 바와 같이 30°로 설정하였다. 차양을 설치할 경우 차양 역시 30°로 경사지게 설정하였다.



(그림 4.13) BIPV 설치 예시(203동)

다음 (그림 4.14)는 벽에 BIPV를 부착한 일반적인 경우를, (그림 4.15)는 벽에 BIPV를 설치한 것에 추가하여 차양 장치를 설치하여 BIPV를 설치하였을 경우를, (그림 4.16)은 벽에 BIPV를 설치한 것에 추가하여 창에 반투명 모듈을 부착하였을 경우를 도식화한 것이다.

71) 이웅직 외 1명, “PV의 건축물 적용기법에 관한 연구”, 태양에너지(한국태양에너지학회 논문집), v.22 n.2, 2002.6, pp.3~4



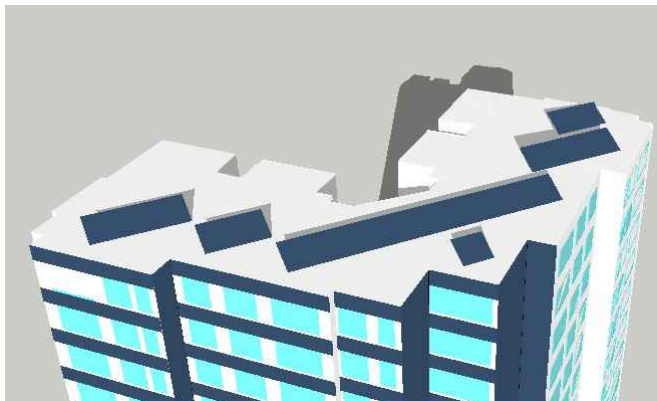
(그림 4.14) 벽에 설치 (그림 4.15) 차양 장치 (그림 4.16) 창

PV 모듈을 옥상에 설치하기 할 때에는 옥상에는 음영이 생기지 않는다는 가정 하에 전체에 남향으로 음영이 생기지 않게 간격을 두고 설치하기로 하였다.

간격을 구하는 것은 다음 (수식 4.6)⁷²⁾에 의하여 각 PV 모듈 간의 간격은 4.1m로 설정하였다.

$$d = b \times \frac{\sin(180^\circ - \beta - \gamma)}{\sin \gamma} \quad (\text{수식 4.6})$$

d : PV 모듈 간격 β : PV 경사각
 b : PV 모듈 높이 γ : 지역의 위도



(그림 4.17) 옥상의 태양광시스템 설치

72) German Solar Energy Society, "Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition)", Earthscan, 2007, p.145

다음 <표 4.27>은 대상 단지 내 PV의 설치 면적을 표로 정리한 것이다.

<표 4.27> 대상 단지 내 PV 설치 면적 (단위 : m²)

구분	PV 설치 면적(남측)			
	위치	방위각	면적	
202동	벽면	-	-	
	옥상	0°	86.57	
203동	벽면	기본	-49°	993.50
			49°	898.15
		기본 + 차양에 PV 설치	-49°	993.50(벽)+722.83(차양)
			49°	898.15(벽)
		기본 + 창에 PV 설치	-49°	993.50(벽)+351.91(창)
			49°	898.15(벽)
	옥상	0°	86.57	
	204동	벽면	기본	-49°
49°				1,088.65
기본 + 차양에 PV 설치			-49°	165.67(벽)
			49°	1,088.65(벽)+475.23(차양)
기본 + 창에 PV 설치			-49°	165.67(벽)
			49°	1,088.65(벽)+237.71(창)
옥상		0°	86.57	
205동		벽면	기본	-49°
	49°			3,916.79
	기본 + 차양에 PV 설치		-49°	1,383.74(벽)+839.38(차양)
			49°	3,916.79(벽)+551.88(차양)
	기본 + 창에 PV 설치		-49°	1,383.74(벽)+419.69(창)
			49°	3,916.79(벽)+275.94(창)
	옥상	0°	86.57	
	206동	벽면	-	-
옥상		0°	177.66	
207동	벽면	-	-	
	옥상	0°	177.66	

구분	PV 설치 면적(남측)		
	위치	방위각	면적
학교	벽면	-	-
	옥상	0°	1,159.58
합계	기본	-49°	2,542.91
		49°	3916.79
	기본 + 차양에 PV 설치	-49°	2,542.91(벽)+1,562.21(차양)
		49°	3916.79(벽)+1,027.11(차양)
	기본 + 창에 PV 설치	-49°	2,542.91(벽)+771.60(창)
		49°	3916.79(벽)+513.65(창)
	옥상	0°	1,861.18

4.3.2 설비형 태양열시스템

2.2장에서 살펴본 태양열시스템의 특성과 3.1.1절과 3.1.3절의 태양열시스템 계획을 위한 고려 요소 및 4.2절의 현황 분석을 토대로 하여 대상 단지에 적용하기에 타당한 태양열시스템을 선정하였다.

(1) 시스템의 선정

태양열시스템은 집열 온도에 따라서 저온 분야와 중고온 분야로 분류할 수 있는데, 저온 분야는 주로 건물의 냉난방 등에 사용된다. 저온용 집열기에는 평판형 집열기를 주로 사용한다. 그 밖의 태양열시스템의 사양은 다음 <표 4.28>과 같다.

<표 4.28> 선정된 태양열시스템의 사양

구 분		내 용
집열기	종류	Glazed
	유리 면적(m ²)	3.75
	용량(kW)	708.35
	집열효율(%)	0.73
	열손실계수(W/m ² °C)	5.00
	온도 계수(W/m ² °C)	0.01
	손실율(%)	3.00
축열조	정격용량(ℓ)	60,750.00
	용량/집열기(ℓ / m ²)	600
열교환기	효율(%)	70.00
	손실율(%)	2.00
	펌프/집열기(W / m ²)	5.00

(2) 공동주택단지 내 태양열시스템 설계안 제시

① 집열판

설비형 태양열시스템의 구성요소인 집열판은 건물 외관에 큰 영향을 미치는 요소이다. 태양열시스템을 활용하기 위해서는 각 세대별로 집열기 설치 공간 및 집열 면적이 필요하게 되는데, 이는 태양열시스템의 규모 결정 및 태양열 이용을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 설비형 태양열시스템의 설계를 위해서는 주동의 형태와 향, 주동의 규모, 지붕의 형태 및 향과 입면 계획 요소를 고려하여야 한다.

현재 각 주동의 형태를 감안할 때 집열판의 설치가 가능한 위치로는 옥상을 이용하거나, 203~205동의 벽면, 단지 내 여유 공간을 활용하는 방법 등이 있다. 그러나 외부 벽체는 4.3.1절에서 BIPV를 설치하기로 하였으며, 단지 내 여유 공간을 활용하는 방법은 설치 여건과 향후 유지·보수의 어려움 때문에 적용하기에는 곤란한 것으로 판단된다.

또한 외벽에 집열판을 설치하게 되면 각 세대별로 축열조를 설치하여야 한다. 그러나 현재 건설되고 있는 아파트의 평면상 축열조 설치가 가능한 장소는 극히 제한적이며, 슬래브의 부가 하중 설계 기준은 300kg/m²로 제한되기

때문에 축열조의 규격 및 용량을 설계하는 결정적인 제한 요소로 작용한다. 축열조의 중량은 건축물에 부가하중으로 작용하기 때문에 설치 위치에 구조물의 보강 및 중량 분산, 장비의 반입 및 설치 등을 고려하여야 한다.

특히, 외벽 및 발코니에 집열판을 부착하여 설치할 경우 저층부에서는 그림자에 의해 일조 확보가 되지 않는 등의 문제가 발생하기 때문에 고층 건물의 경우에는 지붕에 설치하는 것이 유리하다. 또한, 각 세대별로 집열판을 설치하게 되면 집열기로부터 온수를 사용하는 욕실과 주방까지 열매 배관과 연결 배관을 추가적으로 설치하여야 한다. 지붕층에 집열판을 설치하는 방식에서는 배관방식에 별 문제점이 발생하지 않지만, 발코니에 설치하는 경우에는 바닥 난방 온돌층을 통하여 설치하여야 하므로 기존 배관과 상충하는 부분이 발생하게 된다.

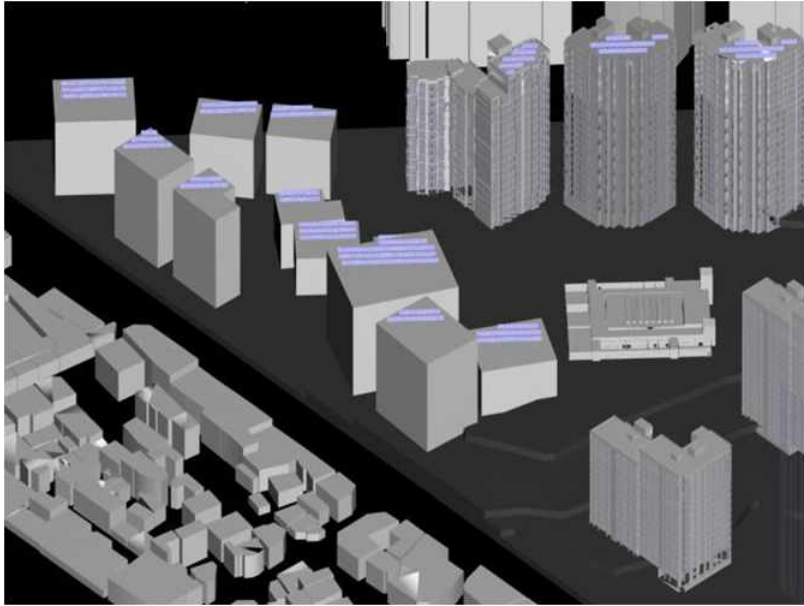
공동주택의 지붕에 집열판을 설치하는 경우, 최근에는 각 지방 자치 단체에서 외적인 미관을 고려하여 경사지붕 형태를 권장하고 있다. 축열조의 설치하는 경사지붕 내부 공간에 설치하여 비교적 공간에 대한 제약을 받지 않는다. 태양열을 이용 효과 면에서 집열 면적과 수요의 관계에 따라 고층형 아파트 보다는 저층형 아파트가 더 좋은 여건을 가지고 있다.

대상지로 선정된 공동주택단지의 경우 외벽에 음영이 지는 곳이 많아 집열판을 설치하기에는 부적합하므로, 본 연구에서는 A블록(101~103동) 및 상업용 건물의 옥상을 활용하여 집열판을 설치하고 급탕부하를 담당할 수 있도록 한다. 그러나 각 건물이 정남향만을 향하는 것이 아니기 때문에 정남향을 향하도록 집열기를 설치하도록 하며, 면적은 각 옥상 면적의 50% 정도의 면적에 설치하는 것으로 하였다. 경사각은 연중 사용하는 경우와 하절기에 태양열을 많이 해야 할 분야에 대해서는 위도와 같게, 주로 동절기에 집열량을 많이 해야 할 분야에서는 위도보다 더 높은 경사각을 사용(위도 +15° 정도)한다.⁷³⁾ 우리나라의 경우 난방의 비중이 더 크기 때문에 겨울철 태양 고도를 고려하여 경사각을 45°로 하였다. 그에 따라 생겨나는 지붕 밑 공간에 축열탱크를 설치하는 방식을 선택한다.

집열판 1장의 열은 통상적으로 집열판 8장 이내로 배열한다. 그 이상이 될 경우, 집열판의 유량 분포가 불균일해져 유량이 적은 집열판에서 효율이 저하되기 때문이다.⁷⁴⁾ 따라서 집열판을 지붕에 남향 45° 경사의 각도로 배열하였으며, 최대 10장까지만 배열하도록 하였다. 다음 (그림 4.18)은 태양열시스템의 집열기를 옥상에 적용한 경우의 모델을 나타낸 것이다.

73) 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004

74) Ibid.



(그림 4.18) 태양열시스템을 옥상에 적용한 경우의 모델

다음 <표 4.29>는 대상 단지 내 집열기의 설치 면적을 표로 정리한 것이다.

<표 4.29> 대상 단지 내 집열기 설치 면적 (단위 : m²)

구분	면적	구분	면적
101동	48.75	상가 5	37.50
102동	71.25	상가 6	37.50
103동	67.50	상가 7	78.75
상가 1	90.00	상가 8	63.75
상가 2	52.50	상가 9	45.00
상가 3	48.75	상가 10	71.25
상가 4	45.00	상가 11	157.50
		합계	915.00

② 축열조의 설계

축열 탱크의 크기는 주 7일간 일정한 주간 부하 특성을 보이는 건물에서는 단위 집열 면적 당 20.4~28.6 l / m²의 크기가 경제적이다.⁷⁵⁾ 또한 축열 탱크

75) 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침”, 2004, p.19

내부의 성층화를 유도하기 위하여 지름에 대한 높이의 비가 가능한 한 큰 수직형 원통 탱크가 효과적이다. 온수의 연결부는 탱크의 상단부에, 냉수배관은 최하단부에 있어야 하며 필요한 체적의 수직형 원통형 탱크를 설치할 공간이 부족하다면 직렬로 연결된 여러 개의 수직형 원통 탱크나 큰 수평형 원통 탱크 하나가 사용될 수 있다. 따라서 본 사례 연구에서는 190,000~200,000 ℓ의 범위에서 축열 탱크 용량을 결정한다.

4.3.3 지열시스템

2.3장에서 살펴본 지열시스템의 특성과 3.2절의 지열시스템 이용을 위한 고려 요소 및 4.2절의 현황 분석을 토대로 하여 대상 단지에 적용하기에 적절한 지열시스템을 선정하였다.

(1) 시스템의 선정

2장에서 고찰한 결과 지열시스템은 지중열교환기의 매설 형태에 따라서 수평형 시스템과 수직형 시스템으로 분류할 수 있는데, 수직형 시스템의 경우 수직으로 매설되며 시공 부지의 제약이 상대적으로 적으므로 우리나라의 토지 여건에 적합하다고 판단된다.

수직형 루프 시스템을 적용하여, Water-to-water 방식을 적용한 지열 시스템을 도입하기로 하였다. 지열시스템의 사양은 다음 <표 4.30>과 같다.

<표 4.30> 선정된 지열시스템의 사양

구 분		내 용	
난방	COP	3.6	
	유량(지열측)(LPM)	950	
	유량(부하측)(LPM)	646	
	압축기 용량(kW)	102.5	
	난방능력	kcal/h	317,340
		RT	105
냉방	COP	4.6	
	유량(지열측)(LPM)	950	
	유량(부하측)(LPM)	646	
	압축기 용량(kW)	78.4	
	냉방능력	kcal/h	310,150
		RT	102

(2) 공동주택단지 내 지열시스템 설계안 제시

일반적으로 천공의 깊이는 75~180m 깊이를 기본으로 하기 때문에 150m를 파는 것으로 하였다. 150m 깊이의 천공 1개는 약 3RT의 용량을 한다는 가정 하에 천공 개수를 산출하여 35개의 천공이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 천공 1개는 4.5m×4.5m의 간격을 필요로 하므로⁷⁶⁾ 총 필요 면적은 708.75㎡이었다.

76) <http://hpsystemtech.co.kr/>

4.3.4 신재생에너지 시스템 종합 적용 계획

4.3.1절부터 4.3.3절까지의 시스템 선정 및 적용을 위한 연구 결과를 종합하여 효율적인 종합 시스템 계획을 하였으며, 다음 (그림 4.19)는 신재생에너지 시스템의 적용 계획을 종합적으로 나타낸 것이다.



(그림 4.19) 신재생에너지 시스템 종합계획

태양광시스템은 203~205동의 남측 벽면과 202~207동과 초등학교의 옥상에 설치하기로 하였으며, 태양열시스템은 A블록(101~103동) 및 상업용 건물에 설치하기로 하였다. 지열시스템은 초등학교 지하에 설치하기로 하였다.

4.4 신재생에너지 시스템의 종류에 따른 성능 평가

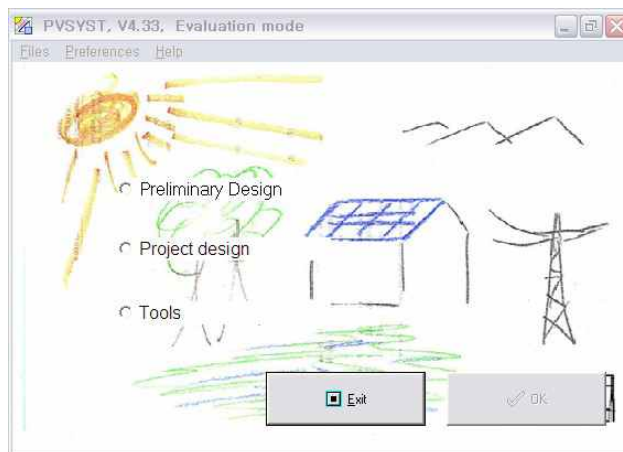
기본적인 설계를 통해 제안한 설계 대안을 평가하는 방법의 하나로 에너지 성능 평가를 실시하였다. 태양광시스템의 적용을 통해 PV 모듈 부착에 따른 전력 부하 담당량을 분석하였다. 설비형 태양열시스템의 성능 평가는 집열판 설치에 따른 급탕 부하 담당량을, 지열시스템에서는 냉난방부하 담당량을 분석하였다. 성능 평가에 사용된 평가도구는 PVSYST 4.33과 RETScreen이다.

4.4.1 시뮬레이션 프로그램의 개요

(1) PVSYST 4.33

PVSYST 4.33은 태양광 발전 시스템의 연구, 설계, 면적 산정, 시뮬레이션 및 그에 따른 분석을 가능하게 해주는 프로그램이다. 설계 초기 단계에서 태양광 발전 시스템을 적용하는 데 있어서 효과적인 시스템의 적용이 가능하게 하는 쉽고 간단한 프로그램이다. 이 프로그램은 독립형, 계통 연계형 등 다양한 시스템에 적합하며, 다양한 기상 자료와 PV 시스템 데이터베이스를 제공한다.

Project part 부분에서는 PV 면적을 산정하고, 적합한 요소를 선정하는데 도움을 주며, 자세한 분석이 가능하고, 전문적인 시스템에 대한 분석도 쉽게 할 수 있게 해준다.



(그림 4.20) PVSYST 4.33의 초기 화면

(2) RETScreen

캐나다의 NRCan(Natural Resources Canada)의 CEDRL(CANMET Energy Diversification Research Laboratory)에서 정부와 산업계의 70명 이상의 전문가와 산학 협력 하에 개발된 프로그램이다.⁷⁷⁾ 이 프로그램은 신재생에너지 시스템의 성능 평가에 있어서 시스템의 연간 에너지 생산량, 설치비용, 경제성 분석 등을 종합적으로 하게 된다.⁷⁸⁾ 성능을 평가할 수 있는 시스템은 현재 풍력, 소수력, 태양광, 바이오매스, 태양열 공기난방, 태양열 급탕, 자연형 태양열 시스템, 지열 시스템, 열병합과 냉장시스템 등이다.

RETScreen은 마이크로소프트사의 엑셀에서 구동할 수 있도록 되어 있으며, 에너지 발전량 해석 및 경제성 평가를 위해 <표 4.31>과 같이 6가지 워크시트로 구분되며 사용자는 각 워크시트 상에 데이터를 입력하여 성능 평가가 이루어진다.

지역을 입력하면 NASA에서 제공하는 그 지역의 기후에 대한 정보를 알 수 있다.

<표 4.31> RETScreen의 입력 모듈

설명	값
Energy Model	태양광 발전에 의한 에너지를 공급하기 위하여 요구되는 설비 시스템의 기술적 특성 정보를 입력한다.
Solar Resource & System Load Calculation	태양광 발전 시스템의 설치가 검토되는 해당 지역의 자연 자원의 특성 자료가 입력되어, 수평면 상의 월별 일사량 값을 사용하여 해당 방위와 경사진 어레이의 연간 일사량을 계산하게 된다.
Cost Analysis	태양광에너지 공급을 위해 요구되는 재무상의 모든 요소에 대한 수치를 입력한다.

77) RETScreen 평가도구는 중소 규모의 가정용 독립형 시스템으로부터 시작하여 대규모의 일반 전력망에 연결된 계통연계형 시스템에 이르기까지 태양광 발전 시스템의 에너지 생산, 환경 성능 및 경제성 평가가 가능하다.

78) 박상현 외, “건축물 적용 대체에너지 설비시스템 설계 타당성 평가”, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004.5, pp.203~204

설명	값
Greenhouse Gas Emission Reduction Analysis	온실가스과 관련된 수치 자료를 입력하여 제안된 프로젝트의 온실가스 완화 정도를 추정하게 된다.
Financial Summary	초기투자비, 연간 유지보수비 및 기타 재무 분석을 위한 입력요소로서 할인율, 프로젝트 기간, 물가 상승률, 전력판매단가 상승률, 발전된 전력의 판매단가, GHG 배출권 거래가, GHG 배출권 거래가 상승률을 입력하면 경제 관련 지표의 결과를 확인하게 해준다.
Sensitivity & Risk Analysis	주요 기술적, 재정적 변수가 재정지표에 미치는 민감도와 위험도 분석의 결과를 제시해 준다.

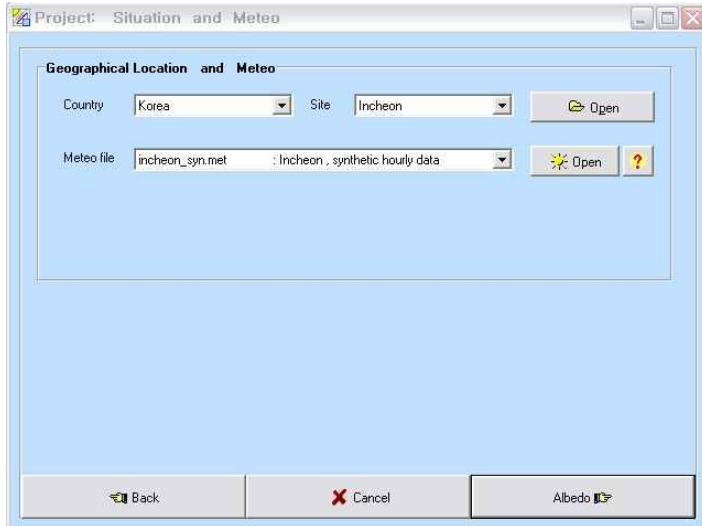
4.4.2 태양광시스템

대상 단지에 설치한 PV 모듈의 발전량은 PVSYST 4.33를 이용하여 시뮬레이션하였다.

(1) 시뮬레이션 과정

① 지역 및 기후

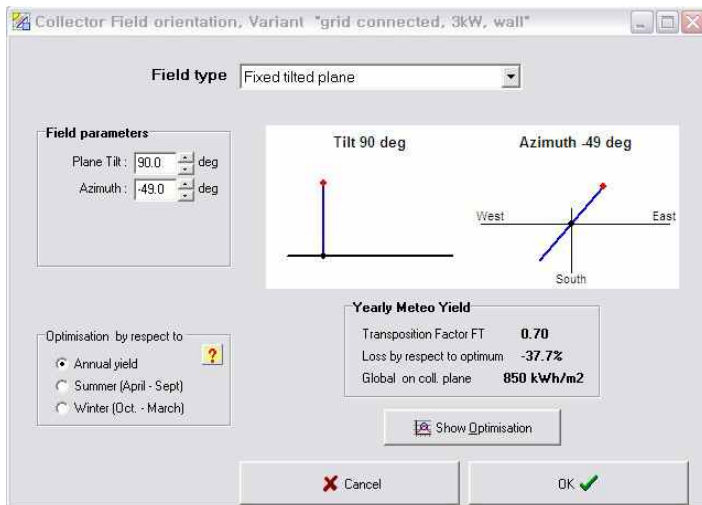
인천의 지역 정보가 존재하지 않아 인천(위도 37.29°, 경도 126.38°)에 설정하였다. 기후데이터는 TMY2를 이용하여 인천지역 기후데이터를 생성하였다.



(그림 4.21) 지역 및 기후 설정

② 경사각과 방위각

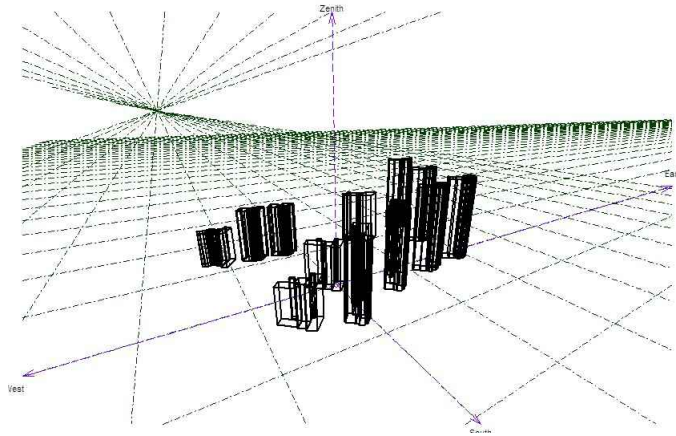
벽면에 설치하는 경우의 경사각과 방위각은 건물과 동일하게 설정하였고, 옥상에 설치하는 경우의 방위각은 0°(정남향)으로 설정하였으며, 경사각은 30°로 설정하였다. 차양을 설치할 경우 30°로 경사지게 설정하였다.



(그림 4.22) 경사각 및 방위각 설정

③ 모델링

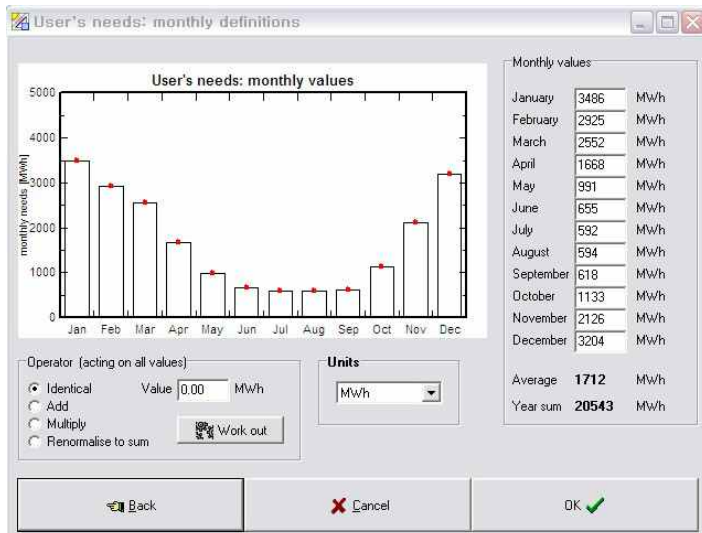
대상 단지의 형태 및 PV 설치 위치 등을 모델링하였다.



(그림 4.23) 대상 단지의 모델링

④ 전력부하 특성

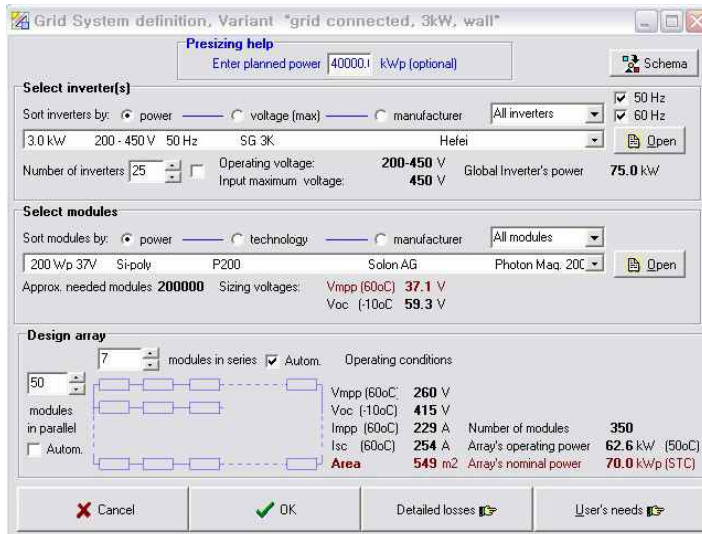
4.2.1절에서 구한 대상 단지의 전력 부하를 월별로 입력하였다.



(그림 4.24) 월별 전력부하 입력

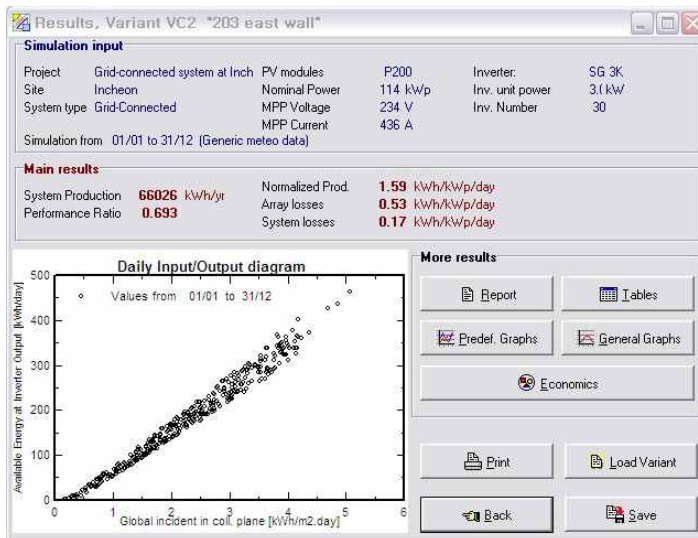
⑤ PV 모듈 및 인버터 선정

4.3.1절에서 선정된 BIPV 모듈을 필요한 면적에 따라 계산하여 입력하였다.



(그림 4.25) PV 모듈과 인버터의 종류 및 면적 산정

(2) 에너지 성능 평가



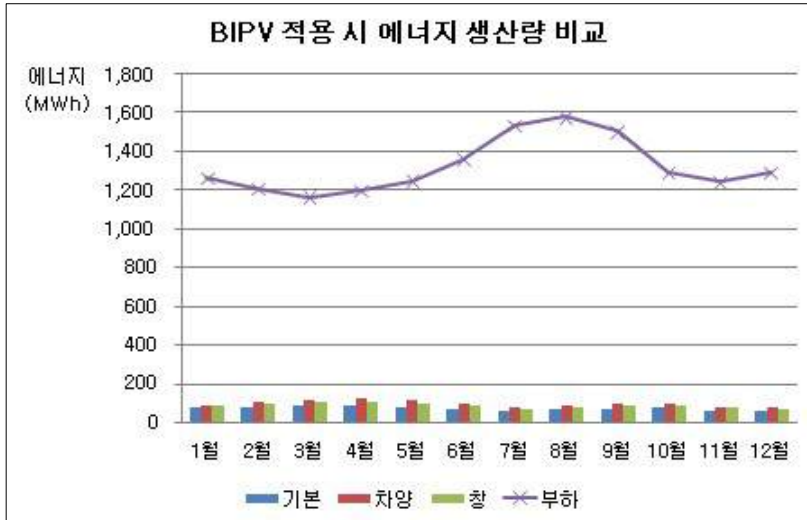
(그림 4.26) PVSYS 4.33의 결과

태양광시스템 적용 시의 에너지 성능은 다음 <표 4.32>와 같이 나타났다.

<표 4.32> BIPV를 설치했을 시의 에너지 생산량 비교 (단위 : MWh)

	기본		차양 장치 추가		창에 PV 설치	
	생산량	부담률(%)	생산량	부담률(%)	생산량	부담률(%)
1월	70.51	5.59	89.00	7.06	82.98	6.58
2월	78.98	6.55	101.71	8.43	93.28	7.73
3월	87.86	7.56	115.97	9.97	103.38	8.89
4월	87.93	7.34	119.32	9.96	102.78	8.58
5월	78.30	6.27	108.17	8.67	91.55	7.34
6월	69.38	5.10	96.65	7.11	81.23	5.97
7월	56.97	3.71	78.42	5.11	67.01	4.37
8월	60.98	3.86	82.88	5.25	71.87	4.55
9월	69.55	4.63	93.00	6.19	81.84	5.45
10월	74.23	5.75	97.23	7.53	86.95	6.73
11월	59.98	4.83	76.63	6.17	70.82	5.70
12월	56.11	4.35	70.83	5.49	66.16	5.13
합계	850.77	5.46	1,129.79	7.24	999.83	6.42

4.2.2절에서 부하 특성을 분석하였을 때, 전력부하는 각 건물에서 총 15,874.66MWh를 나타내었다. BIPV를 이용하여 전력을 발전할 때 벽과 옥상에만 BIPV를 설치할 경우에는 850.77MWh를 발전할 수 있는 것으로 나타나 에너지 부담률은 5.46%인 것으로 나타났다. 또한 차양 장치를 설치하여 PV를 추가하였을 경우에는 1,129.79MWh를 발전하여 에너지 부담률은 7.24%로, 창에 반투명 모듈을 추가하여 발전하였을 경우에는 999.83MWh를 발전하여 에너지 부담률은 6.42%인 것으로 나타났다.



(그림 4.27) 단지 내에 BIPV 적용 시 발전량과 부하의 비교

4.4.3 태양열시스템

태양열 급탕 시스템의 설계안은 RETScreen을 이용하여 대상 단지에 적용한 집열판의 성능을 평가하였다.

(1) 시뮬레이션 과정

① 시스템 및 지역 설정

Project Type은 Solar water heater를 이용한 태양열 급탕 시스템을 선택하고, 지역은 인천 지역을 선정하였다.



(그림 4.28) 신재생에너지 시스템 및 지역 설정

② 경사각과 방위각

태양열 집열기는 고정식이며, 정남향에 경사도를 45°로 설치하였다.

③ 시스템 선정

4.3.1절에서 선정한 시스템을 워크시트에 입력하였다.

Solar water heater	
Type	Glazed
Manufacturer	
Model	
Gross area per solar collector	m ² 3.75
Aperture area per solar collector	m ² 3.75
Fr (tau alpha) coefficient	0.73
Fr UL coefficient	(W/m ²)/°C 5.00
Temperature coefficient for Fr UL	(W/m ²)/°C ² 0.01
Number of collectors	270
Solar collector area	m ² 1012.50
Capacity	kW 708.75
Miscellaneous losses	% 3.0%
Balance of system & miscellaneous	
Storage	Yes
Storage capacity / solar collector area	L/m ² 60
Storage capacity	L 60,750.0
Heat exchanger	yes/no Yes
Heat exchanger efficiency	% 70.0%
Miscellaneous losses	% 2.0%
Pump power / solar collector area	W/m ² 5.00
Electricity rate	\$/kWh

(그림 4.29) 집열기, 축열조 및 열교환기의 선정

(2) 에너지 성능 평가

태양광시스템 적용 시의 에너지 성능은 다음 <표 4.33>과 같이 나타났다.

<표 4.33> 태양열시스템 적용 시 에너지 생산량 비교

	에너지 소비 예측(MWh)	태양열 생산(MWh)	에너지 부담률(%)
급탕부하	4,960.25	564.40	11.38%

태양열시스템을 이용하여 급탕을 할 때 564.40MWh를 발전할 수 있는 것으로 나타나 에너지 부담률은 11.38%인 것으로 나타났다.

4.4.4 지열시스템

(1) 시뮬레이션 과정

① 시스템 및 지역 설정

Project Type은 Combined heating & cooling을 이용한 지열시스템을 선택하고, 지역은 인천 지역을 선정하였다.

② 냉난방시스템의 설정

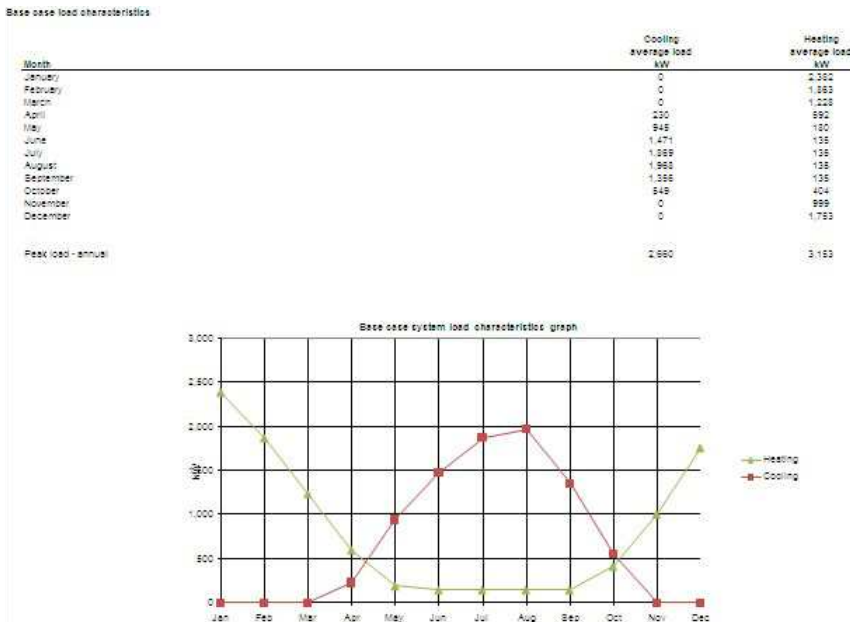
냉난방 필요 면적 및 부하율 등의 기초 자료를 입력하였다.

RETScreen Load & Network Design - Combined heating & cooling project		
Heating project	Unit	
Base case heating system Single building - space heating		
Heated floor area for building	m ²	4,459
Fuel type		Electricity
Seasonal efficiency	%	100%
Heating load calculation		
Heating load for building	W/m ²	707.1
Domestic hot water heating base demand	%	20%
Total heating	MWh	7,551
Total peak heating load	kW	3,152.8
Fuel consumption - annual	MWh	7,551
Fuel rate	KRW/kWh	72,700
Fuel cost	KRW	548,977,190
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	0%
Net peak heating load	kW	3,152.8
Net heating	MWh	7,551
Cooling project Unit		
Base case cooling system Single building - space cooling		
Cooled floor area for building	m ²	4,459
Fuel type		Electricity
Coefficient of performance - seasonal		3.50
Cooling load calculation		
Cooling load for building	W/m ²	598.7
Non-weather dependant cooling	%	0%
Total cooling	MWh	6,447
Total peak cooling load	kW	2,660.4
Fuel consumption - annual	MWh	1,842
Fuel rate	KRW/kWh	72,700
Fuel cost	KRW	133,908,543
Proposed case energy efficiency measures		
End-use energy efficiency measures	%	0%
Net peak cooling load	kW	2,660.4
Net cooling	MWh	6,447

(그림 4.30) 냉난방시스템의 설정

③ 냉난방 부하 특성

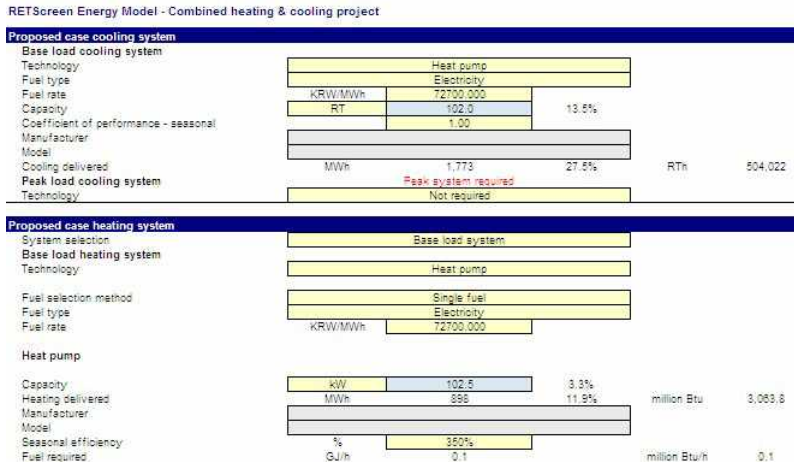
냉난방시스템을 설정하면 자동으로 대상 단지의 부하가 월별로 입력된다.



(그림 4.31) 냉난방부하 그래프

④ 시스템 선정

4.3.1절에서 선정된 시스템을 워크시트에 입력하였다.



(그림 4.32) 시스템 선정

(2) 에너지 성능 평가

RETScreen을 이용하여 지열시스템의 에너지 성능을 평가한 결과, 다음 <표 4.34>와 같이 나타났다.

<표 4.34> 지열시스템 적용 시 에너지 생산량 비교

	에너지 소비 예측(MWh)	지열 생산(MWh)	에너지 부담률(%)
난방부하	14,808.16	898.00	6.06%
냉방부하	2,950.92	1,773.00	60.08%

4.2.2절에서 부하 특성을 분석하였을 때, 난방부하는 총 14,808.16MWh를 나타내었고, 냉방부하는 2,950.92MWh를 나타내었다. 지열시스템을 이용하여 냉난방을 할 때에 난방 에너지는 898.00MWh를 생산하여 6.06%의 에너지를 부담하는 것으로 나타났으며, 냉방 에너지는 1,773.00MWh를 발전하여 60.08%의 에너지를 부담하는 것으로 나타났다. 냉방 에너지 부담률이 큰 이유는 냉방부하를 산정할 당시 전체 건물의 부하가 아닌 연면적이 3,000㎡가 넘는 근린생활 시설만을 산정했기 때문인 것으로 사료된다.

4.5 소결

공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용한 사례 연구는 다음과 같이 요약된다.

(1) 목표 설정

사례 연구에서 신재생에너지 시스템 적용을 위한 기본 설계 목표는 다음과 같이 설정하였다.

- ① 태양광시스템을 적용함으로써 공동주택단지 내의 전력 부하를 담당한다.
- ② 설비형 태양열시스템을 적용함으로써 대상 주동의 급탕 부하를 담당한다.
- ③ 지열시스템을 적용하여 냉난방부하의 일부를 담당한다.

(2) 현황 분석

① 대상 부지의 일사 특성 : 인천 지역은 연간 총 일조시간이 2,186.9시간으로 전국 평균 총 일조시간인 2,086.8시간보다 긴 것으로 나타났으나, 연 평균 일사량은 2,780kcal/m²으로 전국 평균 일사량인 3,090kcal/m²보다 적은 것으로 나타났다.

② 부하 특성 : 난방부하는 연간 총 12,735.0Gcal이며, 주거용 건물에서 사용되는 난방부하가 9,761.1Gcal로 가장 많은 것으로 나타났다. 급탕부하는 연간 총 4,265.8Gcal이며, 주거용 건물에서 사용되는 급탕부하가 3,844.1Gcal로 가장 많이 나타났다. 전력부하는 연간 총 15,874.7MWh이며, 7~9월이 전력부하가 가장 크게 나타났으며, 근린생활시설에서 가장 많이 나타났다. 냉방부하는 연면적 3,000m²가 넘는 근린생활시설만을 예측하여 연간 총 2,660.5MWh으로 나타났다.

(3) 기본 계획 및 설계

① 태양광시스템 : PV 모듈은 건물의 수직 벽면에 외피의 역할을 하는 BIPV를 선정하였으며, 이 때 벽면 음영 분석 결과를 토대로 하루 중 3시간 미만으로 음영이 생기는 부분만을 선정하여 PV 모듈을 설치하기로 하였다.

벽면과 옥상에만 설치한 경우, 차양 장치를 설치한 경우, 창에 반투명 모듈을 설치한 경우 등 3가지의 대안을 분석하였다.

② 설비형 태양열시스템 : 지붕에 경사형으로 부착하는 방식으로 적용하였

으며, 이 때 경사각은 45°로 하였다. 일렬로 최대 10장까지만 배열하도록 하였으며, 총 집열 면적은 915.00m²이다.

축열 탱크의 용량은 190,000~200,000 ℓ 의 범위에서 결정한다.

③ 지열시스템 : 수직형 루프 시스템을 적용하여, Water-to-water 방식을 적용한 지열 시스템을 도입하기로 하였다. 천공의 깊이는 150m로 하였고, 총 필요 면적은 708.75m²이었다.

(4) 시뮬레이션 프로그램을 이용한 각 시스템의 에너지 성능 평가

① 태양광시스템 : 벽과 옥상에만 BIPV를 설치할 경우에는 850.77MWh를 발전할 수 있는 것으로 나타나 전력 에너지 부담률은 5.46%인 것으로 나타났다. 또한 차양 장치를 설치하여 PV를 추가하였을 경우에는 1,129.79MWh를 발전하여 전력 에너지 부담률은 7.24%로, 창에 반투명 모듈을 추가하여 발전하였을 경우에는 999.83MWh를 발전하여 전력 에너지 부담률은 6.42%인 것으로 나타났다.

② 태양열시스템 : 564.40MWh의 에너지를 생산하여 급탕 에너지 부담률은 11.38%인 것으로 나타났다.

③ 지열시스템 : 난방 에너지는 898.00MWh를 생산하여 6.06%의 난방 에너지를 부담하는 것으로 나타났으며, 냉방 에너지는 1,173.00MWh를 발전하여 60.08%의 냉방 에너지를 부담하는 것으로 나타났다

제 5 장 결 론

본 연구에서는 공동주택단지에 신재생에너지 시스템을 적용하기 위한 계획 프로세스를 정리하고, 신재생에너지 시스템이 건축 설계요소로서 통합될 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

문헌 및 이론을 고찰하여 신재생에너지 시스템의 특성을 살펴보고, 공동주택단지에서 신재생에너지 시스템을 적용한 사례를 조사하여 시스템 적용 요소 및 건축 설계 요소와 통합하여 설계하는 과정을 살펴보았다. 이를 바탕으로 신재생에너지 시스템을 적용하는데 영향을 미치는 요소들과 신재생에너지 시스템을 이용하기 위한 계획 프로세스를 정리하였다. 대상지를 선정하여 프로세스에 따라 신재생에너지 시스템을 적용한 것을 정량적인 에너지 성능 평가를 통해 살펴보았다.

연구의 내용과 결과를 요약하면,

1. 신재생에너지 시스템을 적용한 공동주택단지 사례를 조사한 결과, 신재생에너지 시스템의 적용을 위해서는 건축 설계자와 설비 설계자, 시공 기술자 간의 지속적인 교류가 이루어져야 하며, 시뮬레이션 프로그램을 이용한 성능 평가를 통한 피드백 과정이 필요함을 알 수 있었다. 적용된 기법으로는 BIPV의 경우 입면과 지붕에 적용하는 경우가 가장 많았다. 태양열시스템의 경우는 자연형의 경우에는 축열벽 방식(Trombe Wall)과 직접획득 방식(Direct Gain)을 병용하여 난방에 이용하였고, 설비형의 경우에는 지붕에 집열판을 설치하여 급탕에 이용하는 경우가 많았다. 지열시스템의 경우 단지 차원의 사례는 아직 찾아볼 수 없었다.

2. 신재생에너지 시스템을 적용하기 위해서는 신재생에너지 시스템이 에너지 절감 기술 요소로써 뿐만 아니라 건축 설계 요소로 인식되어야 한다. 설계 초기 단계에서부터 건축 계획적 요소, 구성 방식, 에너지 저장 방식, 기술적 요소들을 함께 고려하는 체계적인 계획 프로세스를 제시하였다.

3. 기존 공동주택단지에서 신재생에너지 시스템을 적용한 사례 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 태양광시스템을 적용하여 공동주택단지 내의 전력 부하를 담당하고, 설

비형 태양열시스템을 적용하여 대상 주동의 급탕 부하를 담당하며, 지열시스템을 적용하여 냉난방부하를 담당하는 것을 목표로 하였다.

(2) 신재생에너지 시스템의 적용 가능성을 알아보기 위해 대상 부지의 일사 조건을 분석하였으며, 시스템의 규모 산정을 위하여 건물의 부하 특성을 분석하였다.

(3) 태양광시스템의 PV 모듈은 남향 수직 벽면에 외피의 역할을 하는 BIPV를 설치하였다. 설비형 태양열시스템은 지붕에 경사형으로 부착하는 방식으로 적용하였으며, 이 때 경사각은 45°로 하였다. 일렬로 최대 10장까지만 배열하도록 하였으며, 총 집열 면적은 915.00m²이다. 지열시스템은 천공의 깊이가 150m, 총 면적은 708.75m²의 수직형 루프 시스템을 적용하였다.

(4) 벽과 옥상에만 BIPV를 설치할 경우 전력부하에 대한 에너지 부담률은 5.5%인 것으로 나타났다. 또한 차양 장치를 설치하여 PV를 추가하였을 경우에는 7.2%로, 창에 반투명 모듈을 추가하여 발전하였을 경우에는 6.4%인 것으로 나타났다. 태양열 급탕 시스템의 급탕부하에 대한 에너지 부담률은 11.4%인 것으로 나타났다. 지열시스템을 이용하였을 때 6.1%의 난방 에너지를 담당하는 것으로 나타났으며, 60.1%의 냉방에너지를 부담하는 것으로 나타났다.

본 연구는 사례 연구를 통해 신재생에너지 시스템을 건축 설계 요소 및 기타 요소들과 통합 계획하여 대안을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 에너지 성능을 정량적으로 평가하였다. 보다 효과적인 신재생에너지 시스템의 적용 방안을 도출하기 위해서는 본 연구에서 정리한 계획 프로세스에 따른 신재생에너지 시스템과 설비 시스템의 통합적 설계가 요구된다.

본 연구에서는 기존 공동주택단지로 연구의 범위를 한정하여 진행하였으나 신축 공동주택단지를 계획하는 단계에 있어서 신재생에너지의 이용 효율을 극대화하는 계획 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 시스템 별 경제성을 고려한 시스템의 최적 규모 산정과 적용 방법에 대한 연구가 추후 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

(1) 단행본 및 보고서

1. 김준태 외, “주택 지붕일체형 PV 모듈 및 PV Solar-Roof 개발에 관한 최종보고서”
2. 김진한 외 5명, “스탠딩컬럼웰을 적용한 지열히트펌프 실증연구”, 산업자원부, 2006.7
3. 김희춘 외 4명, “과천태양열주택건설 종합보고서”, 대한주택공사, 1981.12
4. 윤종호, “상업건물용 BIPV 모듈의 건축적 통합화 연구 최종 보고서”, 2004
5. 산업자원부, “신재생에너지 RD&D 전략 2030(태양열)”, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2007.11
6. 산업자원부, “신재생에너지 지열분야 기술 및 시장 동향분석 보고서”, 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2007.10
7. 산업자원부, “한반도 태양에너지 자원의 분석, 평가 및 데이터 신뢰성 향상 연구”, 2006.5
8. 이강후, “새로운 성장동력 대체에너지”, 북스힐, 2007.12
9. 정혜진, “태양도시(에너지를 바꿔 삶을 바꾸다)”, 그물코, 2004.11
10. 조정식 외 5명, “지중 열교환기 전열성능 향상을 위한 뒤채움재 (grouting material) 조성에 관한 연구”, 산업자원부, 2006.5
11. 한정상 등, “지열펌프 냉난방 시스템”, 도서출판 한림원, 2005
12. A. Mitja et al., “Integration of Solar Components in Buildings”, The European Commission, 1998
13. Den Braven, K. R., “Regulations on grouting for closed-loop ground-coupled heat pumps in the united states”, ASHRAE Trans., Vol.106, 2000
14. DOE, “Ground-source heat pumps applied to federal facilities- second edition”, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245(PNN L-13534), US Department of Energy, 2001
15. German Solar Energy Society, “Planning & Installing Photovoltaic Systems(second edition)”, Earthscan, 2007
16. G. N. Tiwari, “Solar Energy”, Alpha Science, 2008
17. Godfrey Boyle, “Renewable Energy(second edition)”, Oxford

University Press, 2004.6

18. IGSHPA, "Grouting for Vertical Geothermal Heat Pump Systems : Engineering Design and Field Procedures Manual", International Ground Source Heat Pump Association, 2000

19. Kavanaugh, S.P. and Refferty, K., "Ground-source Heat Pumps : Design Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings", ASHRAE, 1997

20. Nancy Carlisle, "Innovation in PV Technology", NREL, 2001.6

21. Otto Van Geet PE, "Sustainable Low Energy Design & Renewable Energy Opportunities", NREL

22. Solar Energy International, "Photovoltaics : Design and Installaion Manual", New Society Publishers, 2004.8

(2) 학위논문

1. 김진희, "BIPV 시스템의 최적화 기법에 관한 연구", 공주대학교 석사학위논문, 2004,

2. 오명택, "통풍을 고려한 BIPV 시스템의 성능 평가에 관한 실험적 연구", 공주대 석사학위논문, 2005.2

3. 진용팔, "생태주거의 개념과 설계적용에 관한 연구", 홍익대 산업대학원 석사학위논문, 2002.8

4. 차진영, "환경친화적 리모델링 시 태양 복사 에너지 시스템의 적용에 관한 연구", 중앙대 석사학위논문, 2005.2

(3) 학회논문 및 학술대회

1. 김재원 외 5명, "벽면 부착방식 PV 시스템의 건축물 적용 가능성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 2008.6

2. 김준태, 김경호, "도시 차원의 태양광발전 적용", 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집 통권3호, 2002.11

3. 박상헌 외, "건축물 적용 대체에너지 설비시스템 설계 타당성 평가", 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004.5

4. 유권중, 소정훈, “태양광 발전기술의 현황과 전망“, 설비|공조 냉동 위생 (한국설비기술협회지), v.19 n.6, 2002.6
5. 윤종호, “건물일체형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계 및 응용 기술“, 설비저널(대한설비공학회지), v.35 n.11, 2006.11
6. 윤종호, “건물통합형 태양광발전 시스템의 설계요소 및 접근방법“, 제1회 태양광발전기술세미나, 태양광발전연구회(에너지관리공단), 2001
7. 윤종호, 김재웅, “후면환기조건에 따른 건물외피용 태양광발전(BIPV) 모듈의 열적 영향에 관한 연구“, 한국태양에너지학회논문집
8. 이응직 외 1명, “PV의 건축물 적용기법에 관한 연구“, 태양에너지(한국태양에너지학회 논문집), v.22 n.2, 2002.6
9. 최기환 외 3명, “고층아파트에서의 태양열 이용시스템 적용 가능성 및 전망“, 태양에너지(한국태양에너지학회지), v.1 n.1, 2002.4
10. 홍원화 외, 대형 건축물의 태양광 발전시설 도입에 따른 경제성 및 환경성 효과 분석, 대한건축학회 논문집(계획계), v.20, n.9, 2004

(4) 기타

1. 대한주택공사, “전기. 정보통신설계지침서”
2. 산업자원부, “태양광발전 용어집“, 2007
3. 에너지관리공단, “에너지사용계획협의제도 개선방안 연구용역보고서”
4. 에너지관리공단, “에너지사용계획 협의제도 안내“, 2006.6
5. 한국에너지기술연구원, “태양열 시스템 설계지침“, 2004
6. <http://energyvision.org>
7. <http://hpsystemtech.co.kr/>

국 문 초 록

공동주택단지에서의 신재생에너지 시스템 적용에 관한 연구

정 선 미

중앙대학교 대학원

건축학과 건축환경 및 설비 전공

지도교수 이 언 구

현재 인류는 주로 석유, 석탄, 원자력, 천연가스 등에서 대부분의 에너지를 얻고 있다. 그러나 산업 발달에 따른 화석 에너지의 무분별한 이용으로 머지않은 미래에는 이러한 에너지원들이 고갈될 것으로 예측되고 있으며, 심각한 대기오염과 지구온난화 등의 환경 문제의 주범으로 지목받고 있는 실정이다.

특히, 우리나라는 총 소비 에너지의 97%를 수입에 의존하고 있어, 신재생 에너지를 통한 에너지 자립도 향상이 필요하다. 또한 신재생에너지를 이용함으로써 이산화탄소 절감, 자원 절약 및 환경 보존의 목표를 달성할 수 있다.

그러나 건물 차원에서 신재생에너지의 기술 요소를 적용한 설계 사례 및 연구는 활발히 진행되었지만, 도시나 단지 차원에서 종합적으로 고려하여 신재생에너지 시스템을 적용한 연구는 부족한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 국내·외의 신재생에너지 시스템을 적용한 공동주택 단지의 특징 및 계획 요소와 사례를 조사하고 이를 토대로 기존 공동주택 단지에 신재생에너지 시스템을 적용하는 프로세스를 정리하였다. 또한, 기존 공동주택단지를 대상으로 신재생에너지 시스템을 복합 적용할 경우의 필수 고려 요소들을 도출한 후 대상지를 선정하여 신재생에너지를 이용하기 위한 프로세스에 따라 신재생에너지 시스템을 적용해봄으로써, 신재생에너지 시스템을 건축설계요소로서 통합해가는 과정과, 적용 후의 개선된 점을 정량적인 에너지 성능 평가를 통해 살펴보았다.

연구의 내용과 결과를 요약하면,

1. 신재생에너지 시스템을 적용한 공동주택단지 사례를 조사한 결과, 신재생에너지 시스템의 적용을 위해서는 건축 설계자와 설비 설계자, 시공 기술자 간의 지속적인 교류가 이루어져야 하며, 시뮬레이션 프로그램을 이용한

성능 평가를 통한 피드백 과정이 필요함을 알 수 있다. 적용된 기법으로는 BIPV의 경우 입면과 지붕에 적용하는 경우가 가장 많았다. 설비형 태양열시스템의 경우는 지붕에 집열판을 설치하여 급탕에 이용하는 경우가 많았다. 지열시스템의 경우 단지 차원의 사례는 아직 찾아볼 수 없었다.

2. 신재생에너지 시스템을 적용하기 위한 계획 프로세스에서는 신재생에너지 시스템이 에너지 절감 기술 요소로써 뿐만 아니라 건축 설계 요소로 인식되어야 하며, 설계 초기 단계에서부터 건축 계획적 요소, 구성 방식, 에너지 저장 방식, 기술적 요소들과 함께 고려되어야 한다.

3. 기존 공동주택단지에서 신재생에너지 시스템을 적용한 사례 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 태양광시스템을 적용하여 공동주택단지 내의 전력 부하를 담당하고, 설비형 태양열시스템을 적용하여 대상 주동의 급탕 부하를 담당하며, 지열시스템을 적용하여 냉난방부하를 담당하는 것을 목표로 하였다.

(2) 신재생에너지 시스템의 적용 가능성을 알아보기 위해 대상 부지의 일사 조건을 분석하였으며, 시스템의 규모 산정을 위하여 건물의 부하 특성을 분석하였다.

(3) 태양광시스템의 PV 모듈은 남향 수직 벽면에 외피의 역할을 하는 BIPV를 설치하였다. 설비형 태양열시스템은 지붕에 경사형으로 부착하는 방식으로 적용하였으며, 이 때 경사각은 45°로 하였다. 일렬로 최대 10장까지만 배열하도록 하였으며, 총 집열 면적은 915.00m²이다. 지열시스템은 천공의 깊이 150m, 총 면적은 708.75m²의 수직형 루프 시스템을 적용하였다.

(4) 벽과 옥상에만 BIPV를 설치할 경우 전력부하에 대한 에너지 부담률은 5.5%인 것으로 나타났다. 또한 차양 장치를 설치하여 PV를 추가하였을 경우에는 7.2%로, 창에 반투명 모듈을 추가하여 발전하였을 경우에는 6.4%인 것으로 나타났다. 태양열 급탕 시스템의 급탕부하에 대한 에너지 부담률은 11.4%인 것으로 나타났다. 지열시스템을 이용하였을 때 6.1%의 난방 에너지를 담당하는 것으로 나타났으며, 60.1%의 냉방에너지를 부담하는 것으로 나타났다.

본 연구는 사례 연구를 통해 신재생에너지 시스템을 건축 설계 요소 및 기타 요소들과 통합 계획하여 대안을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 에너지 성능을 정량적으로 평가하였다. 보다 효과적인 신재생에너지 시스템의 적용 방안을 도출하기 위해서는 본 연구에서 정리한 계획 프로세스에 따른 신재생에너지 시스템과 설비 시스템의 통합적 설계가 요구된다.

본 연구에서는 기존 공동주택단지로 연구의 범위를 한정하여 진행하였으나 신축 공동주택단지를 계획하는 단계에 있어서 신재생에너지의 이용 효율을 극대화하는 계획 방법에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한 시스템 별 경제성을 고려한 시스템의 최적 규모 산정과 적용 방법에 대한 연구가 추후 이루어져야 할 것이다.

ABSTRACT

A Study on the Application of Renewable Energy System in Apartment Complex

Jung, Sun-Mi

Department of Architecture

The Graduate School of Chung-Ang University

Advised by Prof. Rhee, Eon-Ku, Ph.D

Human beings have usually consumed non-renewable energy such as oil, coal, atomic energy, natural gas and so on. Due to the reckless use of energy, non-renewable energy is presumed to be exhausted before long. And the reckless use of energy is known to be the major cause of air pollution and global warming.

In Korea, 97% of the total consumed energy is imported, so not only energy saving but also the broad use of renewable energy is necessary. Through the enlargement of the use of renewable energy, we can reduce carbon dioxide, reserve resources and environment.

There are many studies and researches on the renewable energy system adapted in apartment housing, but there is a few studies on the application of renewable energy system in apartment complex or town.

So, the research on the adapting renewable energy systems to an existing apartment complex was made. And the plan process that is necessary for adapting renewable energy system in existing apartment complex was also studied. In case of adapting various renewable systems to existing apartment complex, the factors such as site selecting, orientation, building type and height and the process of integrating renewable energy systems to architectural planning should be considered to improve the performance of renewable energy systems.

The results of this study are summarized as follows.

First, For the efficient application of renewable energy systems in

apartment complex, there should be constant communication among designer, equipment planner, and construction engineer and a feedback process through efficiency evaluation by using simulation program. In case of BIPV, cases of applying it to exterior facade and roof were the most. In case of active solar system, cases of putting heat-collector on roofs and of using it as domestic water heater were the most. Cases using geothermal system in apartment complex were not found yet.

Second, In plan process of the application of renewable energy systems in apartment complex, renewable energy system should be considered as not only energy reducing technical element but also part of architectural plan element. And it must be considered with architectural plan elements, composition methods, energy storage methods, technical elements from the early basic plan stage.

Third, the results of the case study for the application of renewable energy systems in existing apartment complex are as follows :

(1) The photovoltaic, active solar and geothermal system is respectively planned to serve electric load, domestic water heating load, and heating & cooling load of the complex.

(2) The solar condition of the site was analyzed to inquire the possibility of adapting renewable energy system and the load characteristics of the apartment complex were also analyzed to estimate the optimum system size.

(3) In the field of photovoltaic system, BIPV was installed as a skin of the wall facing the south. Active solar collecting system was applied on roof with the angle of 45. Maximum number of solar collector was 10 in a row, and the total solar collecting area was 915.00m². And a closed circuit system of perpendicular form drilling 150m deep and total area of 708.75m² was applied as geothermal system.

(4) In case of installing BIPV only on wall and rooftop, the energy ratio of electric load was shown to be 5.5%. The result showed 7.2% when adding it to shading device additionally, and 6.4% in case of putting extra translucent module on windows. The energy ratio of domestic water heating load by active solar hot water system is shown to be 11.4%. Geothermal system is shown to be capable of carrying out 6.1% of heating energy, and 60.1% of cooling energy.

In this study, through case studies, renewable energy systems were coordinated with architectural plan elements and the others in apartment complex, and the energy performance was evaluated quantitatively through computer simulation. For effective application of the renewable energy systems, integrating plan of equipment system and renewable energy system is required according to the process summarized in this research.

In this study, the scope of the study was limited to existing housing complex. So additional study on applying renewable energy systems to a newly developed apartment complex is necessary. Also, this study is lack of proposal of azimuth, height and story of building in plan of apartment complex for efficient application of renewable energy system. Later, studies on the optimum application considering economical efficiency of each system should be followed.

감사의 글

대학에 들어와서 '건축'이라는 것을 접한 지 어느새 7년이라는 시간이 지났습니다. 많은 일들이 있었고 제 자신을 변화시키기도 했지만, 그 시간들이 너무도 빨리 지나갔다는 아쉬움이 가득합니다. 이 부족한 제가 논문을 무사히 마치고 대학원까지 마칠 수 있도록 도와주시고 격려해주셨던 많은 분들께 감사의 말씀을 전합니다.

학문적으로나 삶에 있어서 나침반이 되어주신 이연구 교수님께 진심으로 존경과 감사를 드립니다. 논문 뿐 아니라 연구실 생활에도 관심과 조언을 아끼지 않으신 박진철 교수님, 논문을 완성하는데 있어 세세한 부분까지 신경써주신 권영철 교수님, 김남규 교수님, 이동주 교수님, 김기훈 박사님께 진심으로 감사드립니다. 건축의 길로 인도해주신 이명호 교수님, 이현호 교수님, 최윤경 교수님, 박찬식 교수님, 이은택 교수님, 이정형 교수님, 강재훈 교수님, 김인철 교수님, 전영훈 교수님, 김창완 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

연구실 생활을 하는 동안 학문적 가르침과 관심을 가져주신 황정하 교수님, 이관호 교수님, 신인중 교수님, 이관호 교수님, 나수연 교수님, 김종진 교수님께 감사드립니다. 건축환경이라는 분야에 관심을 갖게 해주신 전성원 박사님, 박사님이 되신 전주영 선배님, 바쁘신 와중에도 후배들 챙겨주시는 이호준 선배님, 답사의 기회를 마련해주셨던 유형규 선배님, 연구실 전반에 걸쳐 많은 도움을 주신 박창봉 선배님, 새로운 정보를 제공해주신 윤근영 선배님께 감사드립니다. 홍석 오빠, 소연 언니, 종연 오빠, 진영 언니, 우진 오빠, 은희 언니, 용우 오빠, 태신 오빠에게도 감사한다는 말을 전하고 싶습니다.

그리고 연구실 생활을 함께 했던 자칭 청순 옥이 언니, 군필자 연하 훈남 킬러 (정)민희 언니, 혜진 언니, 윤숙 언니, (옥)선미 언니, 베스트 드라이버 건우 오빠, 짝꿍 승혁 오빠, 2년간 늘 힘이 되어준 우리 야기 럭나뷰 미연이, 살 좀 썬야할 종식이, 고구마 먹는 성은씨, 식신 현도 오빠, 다양한 이모티콘 정하 오빠, 너무 착한 우리 (이)민희(올해는 연애해야지!)에게 고마운 마음을 전합니다. 또한 대학원 생활하면서 친분을 나누는 시공방, 구조방, 계획방, 도시방 동기님들, 선후배님들께도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

내 모든 걸 다 알고 있는 세은이, 언제나 힘이 되어주는 소미 언니, 언제나 그 자리에 있어주는 인선이, 바쁜 틈틈이 엄마(?)처럼 신경써주는 설화, 지후 엄마 재현이, 가끔 연락하지만 그래도 편한 지은이, 자기가 언니라고 주장하는 현주에게도 고마움을 전합니다. 또한 이제는 또 하나의 가족처럼 느껴지는 ArMe와 청년건축 학생회 사람들 사랑합니다.

마지막으로 항상 딸을 믿어주시는 사랑하는 부모님 은혜에 감사드립니다. 2년간 군대에서 고생한 동생 희철이에게 고마운 마음 전하고 싶습니다. 그리고, 제가 아는 모든 분들에게 감사의 마음을 전하며, 항상 행복하시기를 바랍니다.

2008년 12월 정 선 미 드림