

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 목적

인구 증가와 산업 발달에 따른 화석에너지의 무분별한 이용으로 인한 환경오염이 심각한 상황에 이르고 있다. 석탄, 석유, 가스 등 화석에너지의 채굴, 처리, 연소과정에서 나오는 황산화물, 질소산화물 등의 전통적인 대기오염 문제, 오존층 파괴, 발전소나 정유공장에서 유출되는 유해화학 물질과 유출된 원유에 의한 수질오염, 그리고 원자력발전소에서 나오는 방사능폐기물 등이 최근 주요 환경문제와 직접 연관되어 있다. 이러한 환경문제로 인해 오존층이 감소하게 되며, 지구온난화를 유발시켜 기상변화 및 대기오염 등의 피해를 일으키게 된다.

이와같이 환경오염에 대한 관심이 새롭게 고조되고, 환경문제가 직접적으로 에너지 문제와 연계되어 있음을 인식하기 시작하면서 대체에너지 이용의 당위성이 다시 크게 부각되고 있다. 또한 에너지 부존자원이 없는 우리 나라에서는 에너지 자급율이 3% 정도에 지나지 않을 정도로 에너지 공급의 대부분을 수입에 의존하고 있기에 국가경제의 측면에서도 대체 에너지 사용의 필요성이 강조되고 있다. 이러한 대체에너지에는 태양에너지, 지열에너지, 풍력에너지, 바이오매스, 해양에너지 등이 있는데, 화석연료가 심각한 환경오염의 주원인인데 비해 대체에너지는 반영구적이며 청정에너지이기 때문에 환경오염의 문제를 유발하지 않는다. 이러한 대체 에너지 중에서, 세계적으로 연구 및 보급이 활발히 진행되고 있으나 아직 국내에 적용이 미흡한 태양광 시스템을 이용한 에너지의 공급은 환경문제의 피해를 막기 위한 매우 중요한 과제이다.

이러한 태양광 시스템을 주택건설의 75% 이상을 차지하고 있는 공동주택에 적용함으로써, 태양에너지를 이용한 환경친화형 건축의 개발과 환경오염의 방지에 따른 지구온난화 방지와 더불어 주민들의 삶의 질을 향상시키도록 유도할 수 있다.

태양광 시스템을 이용한 에너지 생산은, 환경문제를 전지구적 차원의 문제로 해결하기 위한 UN환경회의 및 교토 회담등을 통해 합의된 CO<sub>2</sub> 배출량 제한조치를 이행하게 되므로, 점차 가시화되는 그린라운드등이 본격적으로 추진될 21세기에는 우리나라가 환경문제에 관해서 더욱 능동적으로 대처할 수 있을 것이다.

본 연구는 공동주택 계획시 태양전지 적용 가능성을 알아보는 목적으로 진행되었으며 그 내용은 다음과 같다.

본 연구에서는 첫째, 태양전지의 경사각, 방위각, 적용면적별 전력 생산 회귀식을 산출하였으며, 둘째, 공동주택 단지에 적용가능한 부위 및 면적을 산정하여 공급하는 전력량 및 담당비율을 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 셋째, 경제성 분석을 실시하여 실제 적용가능성을 타진하였다.

## 1.2 연구의 방법

본 연구는 대부분의 주거건축으로 건설되고 있는 공동주택단지에서 태양전지의 적용 가능성에 관한 연구이다.

본 연구에서의 구체적인 수행절차 및 방법을 정리하면 다음과 같다.

### (1) 문헌고찰(Literature Review)

환경문제와 국내 에너지 소비현황을 알아보고, 대체에너지와 태양전지에 관한 내용 및 이론을 정리한다.

### (2) 사례연구(Case Study)

태양전지가 국내외 건축 및 옥외공간에 적용된 사례를 조사한 뒤, 적용된 건물의 특성을 살펴본다.

### (3) 컴퓨터 시뮬레이션(Simulation)

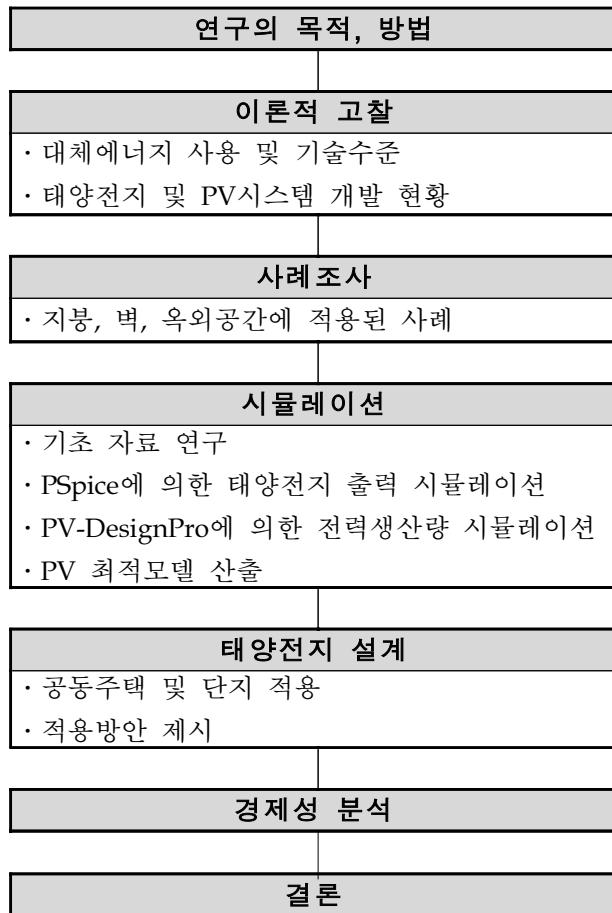
공동주택 및 단지에 적용될 수 있는 공간을 선정하여, 태양전지로 공급할 수 있는 전력량을 알아보고, 각 건물에 요구되는 전력부하와 태양전지로 담당할 수 있는 비율을 분석한다.

(4) 적용설계(Application Design)

공동주택 및 단지에 적용한 뒤 최적의 적용방안을 제시한다.

(5) 경제성분석(Economic Analysis)

태양전지의 경제성 분석을 실시하고, 항목들의 민감도를 분석한다.



(그림 1.1) 연구 흐름도

## 제 2 장 이론 고찰

### 2.1 환경과 에너지

인류가 불을 발견한 이후 에너지는 인간생활의 필수 불가결한 것이 되었다. 18세기 산업혁명이후 기술 문명의 창조에 따라 다양한 에너지를 인류가 사용하게 되었다. 지구화시대 속에서 세계인구의 증가와 개발도상국의 경제발전에 의한 에너지 수요의 증가를 예상하는 데 비하여, 에너지 공급은 중동지역에 편재하는 석유의 잠재적인 공급의 불안정성을 갖고 있으며, 석탄 등의 대량소비에 의한 환경오염 및 지구온난화, 원자력발전에 대한 안전성 미흡 등의 여러 문제점을 안고 있다.

에너지 사용의 직접적인 결과는 환경오염이다. 석탄, 석유, 가스와 같은 화석에너지의 채굴, 처리, 연소과정에서 나오는 황산화물, 질소산화물 등의 전통적인 대기오염 문제, 오존층 파괴, 발전소나 정유공장에서 유출되는 유해화학물질과 유출 원유에 의한 수질오염, 그리고 원자력발전소에서 나오는 방사능폐기물 등이 최근 주요 환경문제와 직접 연관되어 있다.

인류 최대의 환경재앙으로 우려되는 지구온난화 가스의 95%, 오존층 파괴의 주범인 질소산화물의 95%, 산성비의 주범인 황산화물의 95%가 에너지 사용에 의한 것이다. OECD국가를 중심으로 현재의 지구온난화 수준을 유지하려면 최소한 온실가스 중 이산화탄소의 배출량을 약 60% 이하로 줄여야 한다고 보고되고 있다. 이는 산업이나 경제에 결정적인 영향을 미칠 것이고, 또한 이를 위해서는 지구공동체에 에너지시스템의 변화가 요구된다. 에너지시스템의 변화는 사회체제의 변화를 수반하므로 현재 에너지와 환경 패러다임의 근본적인 변화가 요구되고 있다.

인류에게 가장 중요한 문제는 깨끗하고 공해 없는 지구환경을 후세에게 물려주는 것이다. 이러한 전 지구적 문제들을 해결하려는 방편으로 지속가능한 개발 이론이 새로운 개발이념으로 발전하고 있다. 현재까지 우리는 불행하게도 공해와 환경과

괴를 유발시키는 화석연료를 주에너지원으로 사용하고 있으나 이러한 문제를 해결할 수 있는 방법 중의 하나가 바로 무한한 청정 에너지원인 태양광 발전이다.

## 2.1.1 환경오염

### 1) 지구온난화

대기 중에 존재하는 이산화탄소와 같은 온실가스가 태양열이 지표면에 복사된 후 우주공간으로 방출되는 것을 흡수차단함으로써, 온실과 같은 현상을 가져와 지구대기의 기온이 상승하는 것을 말하며, 이를 온실효과(Greenhouse Effect)에 의한 지구온난화(Global Warming)라 한다.

지구 온난화에 의한 문제점은 기상변화를 들 수 있는데 비정상적인 가뭄, 홍수, 해수온도 상승 등의 폐해가 있다. 지구 온난화로 극지방의 빙산이 녹아 해수면을 상승시키는 것이다. 따라서 2100년에 이르면 해수면이 50cm에서 2m 정도까지 상승될 전망이다. 해수면이 1미터 상승시 육지 면적의 약 3%정도가 침수되는데 주요 대도시와 경작지의 많은 부분이 해안에 위치하고 있는 관계로 해수면 상승은 지구 환경에 큰 변화를 가져온다. 또한 오존, 미세먼지, 납 등으로 인한 대기오염이 증가하고, 기온 상승에 따른 수질이 악화되어 전염병이 만연하게 된다.

### 2) 오존층 감소

지상 20~30km의 높이에 집중되어 있는 오존층이 계속 파괴되고 있다. 오존층은 태양으로부터 입사되는 자외선의 대부분을 차단하는데 지구에 도달된 자외선에 과다하게 노출되면 피부가 검어지며 피부암의 원인이 되기도 한다. 오존의 감소와 피부암은 통계적으로 상응되기 때문에 오존층이 없어지면 인류의 삶은 크게 위협받게 된다.

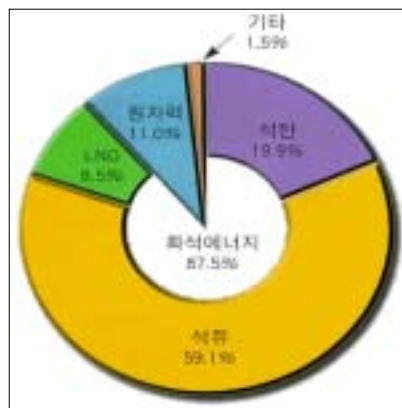
오존층의 감소는 과도한 이산화탄소 배출이 원인으로 분석되고 있다. 현재 사용하는 대부분의 에너지는 화석자원을 연소시켜야 하기 때문에 열과 함께 이산화탄소를 발생시킨다. 결국 화석원료를 에너지로 사용하기 위해서는 이산화탄소의 발생이 필연적일 수 밖에 없다.

## 2.1.2 국내 에너지 현황

### 1) 국내 에너지 소비 현황

우리나라는 에너지 다소비형 산업구조로, 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출량이 지속적으로 증대하고 있다. 특히 최근 10년 동안의 배출량은 연간 10%의 비율로 증가하고 있다<sup>1)</sup>. 주요 온실가스인 이산화탄소는 90% 이상이 석탄, 석유 등 화석에너지의 사용과정에서 발생하므로 온실가스의 저감을 위해서는 에너지 기술 개발에 의한 이산화탄소의 감소가 매우 중요하다.

(그림 2.1)은 우리나라의 에너지 소비 현황을 나타내는 그래프인데, 1998년 현재 화석에너지를 88% 사용하는 것으로 나타났다. 그리고 안전성이 미흡한 원자력발전으로 11%를 사용하는 것으로 나타났다.



(그림 2.1) 국내 에너지 소비 현황

1) 에너지기술연구소, 기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획, 과학기술부, 1998.

## 2) 국내 에너지 기술 개발

국내에서 에너지 기술 개발분야의 연구가 진행중에 있다. 에너지 기술 개발 분야는 에너지절약 및 효율개선, 대체에너지, 청정에너지, 이산화탄소 처리 기술등의 항목으로 분류되어 연구되고 있다<sup>2)</sup>.

에너지절약 및 효율개선 기술 분야는 모든 부문에서 절약가능한 요소를 찾아 개선하고 화석에너지의 이용효율을 향상시켜 에너지소비를 감축하므로써 이산화탄소의 배출을 줄이는 기술이다.

대체에너지 기술 분야로 태양, 풍력, 지열, 해양, 바이오매스와 같은 자연에너지 이용기술과 연료전지, 수소 등과 같은 신에너지 이용기술 및 폐기물 이용기술 등이 포함된다.

청정에너지 기술은 석탄과 같이 이산화탄소 배출이 많은 연료를 청정한 가스연료로 전환함으로써 이산화탄소의 배출을 줄이는 기술이다.

이산화탄소 처리기술 분야는 화석연료 연소 후 생성된 이산화탄소를 대기 중으로 방출시키지 않고 분리·회수, 폐기 및 고정화·재활용하는 것이다.

<표 2.1>은 국내 에너지 기술 개발에 관한 항목 및 주요내용을 정리한 것이다.

---

2) 에너지기술연구소, 기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획, 과학기술부, 1998.

<표 2.1> 에너지 기술 개발 분류

분야	기술	주요내용
에너지절약 및 효율개선	산업에너지기술 건물에너지기술 수송에너지기술 전기에너지기술	절약형 산업공정 고효율 연소기 절전형 냉난방 환경친화적 건축설비 저연비 자동차 조명기기 고효율화
대체에너지 기술	자연에너지 이용기술 신에너지 이용기술 폐기물에너지 이용기술	태양광발전 풍력, 소수력 연료전지 발전 바이오매스 에너지
청정에너지 기술	청정 석탄 이용기술 청정 석유 이용기술	폐기물 자원화 석탄가스화 복합발전 가압유동층 복합발전
이산화탄소 처리기술	분리/회수 기술 폐기 기술 고정화/재활용 기술	

## 2.2 대체에너지 개요

화석연료가 공해 및 온실효과로 인한 환경 문제와 방사성 물질에 의한 안전성 문제가 심각한데 비해 대체에너지는 반영구적이며 청정에너지이다.

이러한 대체에너지에는 태양에너지, 지열에너지, 풍력에너지, 바이오매스, 해양에너지 등이 있다.

### 2.2.1 태양에너지

태양은  $3.8 \times 10^{23}$  kW의 거대한 복사 에너지 형태로, 이 가운데 극히 일부분만이



지구 면적에 비추어지며, 이 작은 부분만 해도  $1.8 \times 10^{14} \text{kW}$ 에 달한다. 평균적으로 이 에너지량의 60%정도인  $1.1 \times 10^{14} \text{kW}$ 가 대기층을 뚫고 지구 표면에 도달하게 된다. 이것을 에너지 밀도로 보면 해가 맑게 비치는 날 지상의  $1\text{m}^2$ 에 약  $1\text{kW}$ 의 에너지가 떨어지는 것에 해당된다.

태양에너지의 이용은 공학적인 측면에서 태양발전 시스템과 태양열 시스템으로 구분할 수 있으며, 태양발전에서는 태양광발전과 태양열발전으로 나눌 수 있는데, 그중 특히 태양광 발전을 미래지향적인 연구 개발의 주요과제로 인식하여 전세계에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

## 1) 태양광 발전

태양발전 시스템은 수용가에게 필요한 전기를 공급하기 위해서 모듈을 직·병렬로 연결한 태양전지 어레이(array)와 전력 저장용 축전지(storage battery), 전력 조정기(power controller) 및 직·교류 변환장치(inverter)로 구성된다.

## 2) 태양열 발전

태양열 발전이란 지상에 U자형의 오목 거울을 사용하여 그 초점에 태양열을 모으고, 이 고온을 이용하여 증기를 발생시켜 화력발전과 유사하게 증기터어빈을 이용하여 전기를 만드는 시스템이다.

집광된 열은 축열기를 통한 뒤 열전달이 되어 증기가 발생하고 동력기를 통해 전기가 발생하는 단계를 거친다.

태양열 발전 시스템의 종류에는 중앙 집중형 시스템, 분산 시스템, 독립형 시스템이 있다.

① 중앙 집중형(central receiver solar thermal electric power system)

태양 추적 장치(heliostat)라고 불리는 거대한 태양 추적 반사경에서 반사된 태양 광을 중앙에 위치한 탑의 한 점에 모아 고열을 얻고, 이 고열로 열교환기 등을 이용하여 고압 수증기를 발생시켜 전기를 얻는 방식이다.

② 분산 시스템(distributed solar thermal electric power system)

선초점형이나 접시형 등 집광 집열 시스템을 다수 분산 배치하여 배관내를 흐르는 열매체를 가열시키고, 이를 이용하여 Stirling 엔진과 같은 열기관을 구동시켜 발전하는 방식이다.

③ 독립형 시스템(stand-alone system)

분산형 시스템과 같은 집광 집열기를 이용하는 5~25kW 급의 시스템으로 전력 계통으로부터 독립된 소규모 전원으로 이용되는 것을 말한다.

## 2.2.2 풍력에너지

풍력 발전이란 공기의 유동이 가진 운동 에너지의 공기역학적 특성을 이용하여 회전자를 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고, 이 기계적 에너지로 전기를 얻는 기술이다. 풍력 발전기는 지면에 대한 회전축의 방향에 따라 수평형 및 수직형으로 분류되고, 주요 구성 요소로는 날개와 허브로 구성된 회전자와 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속 장치, 발전기 및 각종 안전 장치를 제어하는 제어 장치, 유압 브레이크 장치와 전력 제어 장치 및 철탑 등으로 구성된다.

풍력발전은 어느 곳이나 산재되어 있는 무공해, 무한정의 바람을 이용하므로 환경에 미치는 영향이 거의 없고, 국토를 효율적으로 이용할 수 있으며, 대규모 발전 단지의 경우에는 발전 단가도 기존의 발전 방식과 경쟁 가능한 수준의 신 에너지 발전 기술이다. 또한 풍력 발전 단지의 면적 중에서 실제로 이용되는 면적은 풍력

발전기의 기초부, 도로, 계측 및 중앙 제어실 등으로 전체 단지 면적의 1%에 불과하며, 나머지 99%의 면적은 목축, 농업 등의 다른 용도로 이용할 수 있다.

풍력발전 관련 기술은 이미 세계 각국에서 실용화 단계이기 때문에 요소 기술 개발보다는 풍력 발전기의 저가화와 대형화 및 보급 확대에 치중하는 경향이다. 많은 국가에서 경쟁적으로 풍력 발전을 보급하고 있으며 1994년말까지 세계적으로 연간 약 45억 kWh이상의 전력을 생산하고 있다.

현재 가장 많은 풍력 발전기가 운전되고 있는 국가는 미국, 독일, 덴마크 순이며 미국의 경우 캘리포니아의 대규모 풍력 단지를 중심으로 1993년에는 연간 30억 kWh의 전력을 생산하여 캘리포니아 전체 전력수요의 1.2% 정도를 공급하였고, 1994년에는 약 35억kWh의 전력을 생산하였다. 풍력발전의 비중이 가장 높은 나라는 덴마크로 98년 현재 4900개의 풍력발전기에서 1,135MW를 생산 전기소비량의 7%를 담당하고 있으며 44만가구에 공급하고 있다. 또한 '에너지 21' 계획은 2000년까지 10%, 2030년까지 50%로 확대한다는 계획이다. 국내의 기술 개발 현황은 제주 월령에 100kW급 및 30kW급, 20kW급 풍력 발전을 설치해 가동하고 있으며, 1997년 현재 11기 용량 1,913KW 정도의 전력을 생산하고 있다.

### 2.2.3 해양에너지

해양에서 이용가능한 에너지로는 해수간만의 차이를 이용하는 조력에너지(tidal energy)와 파도의 힘을 이용하는 파력에너지(wave energy), 해수면과 심층의 수온의 차이를 이용하는 해양 온도차 에너지(Ocean Thermal Energy Conversion : OTEC) 그리고 하천과 해양이 접하는 하구에서의 염분 농도의 차이를 이용하는 에너지 등이 연구되고 있다.

조력에너지 발전을 처음 상업적으로 이용한 곳은 프랑스 북쪽에 위치한 란스 하구로서 1968년에 24만 kW 용량의 세계 최대의 조력발전소가 준공되었다. 이 곳은 간만의 차이가 13.5m이고 만조시의 유입 에너지와 간조시의 유출 에너지 모두를 발전에 이용하고 있다. 조력발전은 조수간만의 차이가 커야 하는 조건 이외에도 하구에 저수지를 건설할 수 있는 장소가 있어야 한다. 조수간만의 차이가 큰 우리나라에서는 가로림만, 아산만 등이 조력발전의 적지로서 세계적으로 인정되고 있다.

파력에너지는 파도의 높이와 그 속도에 관계된다. 파도에너지는 파도 높이의 제곱에 비례하며, 이를 발전에 이용하게 된다. 파도에너지의 개발을 위한 입지로는 지구상에서 위도 40~60°지역의, 바람이 지속적으로 불어오는 해안선을 가장 적합한 장소로 보고 있다.

파력발전은 해수의 움직임, 즉 해수면의 상하운동과 전후운동을 이용하게 된다.

파력 에너지를 이용한 발전 기술 연구는 파력 자원이 풍부한 일본, 영국, 노르웨이 등에서 활발하게 추진되고 있다. 파력 발전은 심한 출력 변동과 대규모 발전 플랜트를 해상에 계류시키는데 기술적인 어려움이 있으나 2000년대 초에는 상용 발전이 가능할 것으로 전망되고 있다.

해양 온도차 에너지는 해수면에서 500~600m 정도 깊은 곳의 5℃의 심층수와 표층수의 온도차이를 이용하는 것으로서 특히 적도에 가까운 위도 지역에서의 이용에 적합하다. 이용 방법은 암모니아나 프레온 등 끓는점이 낮고 증기압이 높은 물질을 사용하여 압력이 높은 증기를 만들어 터빈을 돌림으로써 전기를 발생시키는 방식이다.

#### 2.2.4 지열에너지

지열 에너지는 지구 자체가 가지고 있는 에너지이므로 굴착하는 깊이에 따라 잠재력은 거의 무한이라고 할 수 있다. 지열 에너지는 저온 열수를 직접 이용하는

온천 등의 관광 자원이나 난방 열원 등으로는 많이 개발되었다.

지열 발전 기술로는 선진 각국이 저온 비등 매체를 이용하는 방식이나 터빈 사이클과 냉동 사이클을 결합시킨 복합 사이클 방식의 개발을 경쟁적으로 추진하여 많은 기술이 축적되어 있다. 지열에너지는 화산성 지열과 비화산성 지열을 이용한다.

### 2.2.5 바이오매스

바이오매스(biomass)는 에너지원으로서의 식물체 또는 동물체의 양을 가리키는 것으로서, 바이오매스 에너지는 이 유기체가 지니고 있는 에너지 자체와 이의 유용 에너지로의 변환 및 이용 등을 가리키는 포괄적인 용어이다.

에너지 변환에는 나무를 잘라 연료로 태우는 간단한 것을 위시하여 사탕수수 등의 작물을 발효과정을 거쳐 액체연료화하는 것등이 다양하게 포함된다. 바이오 매스 자원을 크게 분류하면 에너지 자원으로서의 식물, 즉 감자류와 같은 농작물, 수목, 해초 등의 탄화수소 식물과 농업, 임업과 축산물에서의 폐기물로 나눌수 있다.

<표 2.2>는 바이오 매스의 변환방법과 생산되는 에너지 물질을 나타내고 있다.

<표 2.2> 바이오 매스의 변환방법과 생산되는 에너지 물질

공정	생산물	에너지원
혐기소화	메탄, 이산화탄소	메탄
발효/증류	에탄올	에탄올
화학적환원과 분별증류		액화탄화수소
열분해	탄, 유분, 타르	메탄, 연료가스, 알콜
수소첨가	유분	메탄, 액화탄화수소
직접연소	열	전력

바이오매스 자원은 재생이 가능하며 또 광역분산형의 자원으로서 지역 에너지원으로 주목되고 있다. 에너지원으로서의 바이오매스의 장점은 에너지를 저장할 수 있고, 재생이 가능하며, 물과 온도조건만 맞으면 지구 어느 곳에서나 얻을 수 있고, 최소의 자본으로 이용기술의 개발이 가능하며, 그리고 원자력의 이용 등과 비교할 때 환경적으로 안전하다는 점 등이다.

한편, 단점으로는 넓은 면적의 토지가 필요하며, 토지 이용면에서 농업과 경합하고, 자원부존량의 지역차가 크며, 비료, 토양, 물, 그리고 에너지의 투입이 필요하고, 문란하게 개발하면 환경파괴를 초래한다는 것이다. 또 바이오매스의 생산, 수집, 운반, 변환에 관련한 기술적 문제도 있다. 이와 같이 바이오매스에너지의 이용·개발은 여러 문제를 안고 있으며, 바이오매스 자원의 부존량은 지역에 따라 큰 차이가 있다. 바이오매스가 지역의 에너지원으로서 판단하기 위하여는 이들 문제를 다각적으로 검토할 필요가 있다.

바이오 매스의 자원별 활용방안을 보면 메탄가스의 용도는 주택이나 축사, 난방, 취사용 연료, 발전기에 의한 전력생산, 내연기관용 연료, 곡물 건조용 등으로 사용된다. 알코올 연료는 휘발유 및 경유의 대체 에너지로서 알코올 혼합 연료가 내연기관용 연료로 많이 이용되고 있다.

바이오매스 에너지는 세계적으로 정확한 통계가 없으나 대략 25억의 인구가 환경문제보다는 생존을 위한 취사연료, 난방과 조명용으로 이용하고 있다. 네팔 등지에서는 에너지의 대부분을, 인도 등은 대략 절반을 이용하는 등 개발도상국에서 많이 활용되고 있다. 이러한 바이오매스는 보통 상거래를 하지 않기 때문에 세계의 에너지 통계에 포함되고 있지 않다. 미국의 경우 바이오매스의 약 85%는 나무와 나무 톱밥 등이 직접 연소를 통해 이용되며, 나머지 15%는 농작폐기물, 도시쓰레기, 가축 분뇨 등이며, 재생에너지 전문가들은 바이오매스의 미국 에너지 구성비를 대략 5~8%로 보고 있다.

바이오매스 연료로서 브라질과 미국에서 추진하고 있는 가솔린 대체 연료로서의 에탄올 제조가 부각되고 있다. 에탄올을 가솔린에 20% 정도 혼합하여도 가솔린 엔진의 작동에 지장이 없음이 실증되었다. 현재 미국에서 10%의 에탄올 혼합 가솔린은 가스홀(gashol)이라고 불리며, 매년 8억 5천만 갤론의 에탄올을 대부분을 농사 잉여분의 콩을 발효하여 만들고 있다.

### 2.2.6 국내 대체에너지 이용 현황

대체에너지가 우리나라에서 차지하고 있는 공급비중은 '98년 현재 총에너지 사용량의 1.03%로서 전년대비 약 21%가 증가했으나 아직도 선진국들에 비해 공급 비중은 낮다.

<표.2.3>은 우리나라 대체에너지 이용현황을 나타낸 표이다. 국내 대체에너지 현황은 태양열, 태양광, 바이오매스, 폐기물, 소수력, 풍력등의 분야를 이용하고 있다.

<표 2.3> 우리나라 대체에너지 이용현황

분야	주요 이용현황
태양열	가정용 태양열 온수기 176,800여기
태양광	소규모 도서용 및 특수전원용으로 총 3,240kW
바이오매스	산업체 및 농가의 메탄가스 이용시설 100여기
폐기물	도시쓰레기 : 목동, 부천, 일산, 다대포등 31개소(소각열이용) 산업폐기물 : 520여개소 폐기물소각열 이용
소수력	23개소 37MW
풍 력	제주지역 등에 7기 약 2,000kW

<표2.4>는 대체에너지원별 사용량과 비율을 나타낸 표이다. 폐기물 사용이 전체의 92%로 대부분을 차지하고 있으며, 태양광은 0.2%로 대체에너지의 사용으로 극히 저조한 상태이다.

<표 2.4> 대체에너지 사용량과 비율 (단위:천TOE)

구 분	폐기물	바이오매스	태양열	소수력	태양광	풍력	계
공급량	1,577	63	44	27	4	0.4	1,715
비율(%)	91.9	3.7	2.6	1.6	0.2		100

## 2.3 태양전지

태양광발전에 필요한 재료를 개발하는 것은 대체에너지 개발이라는 측면에서 매우 큰 의미가 있다. 에너지 문제라고 하면 현재 사용되고 있는 석탄, 석유, 천연가스 등의 화석에너지 자원이 한정되어 있다는 것을 떠올리지만, 최근에는 화석연료를 연소하여 에너지를 사용하는 과정에서 발생하는 환경 문제가 대두되고 있다. 공기오염, 산성비, 그리고 온실효과 등이 대표적인 환경문제이다. 특히 온실효과에 대한 우려는 점점 커지고 있다. 대기중의 탄산가스 농도는 1960년 이래로 급속히 증가했는데, 이는 주로 화석연료의 연소와 삼림면적의 감소에 기인한다. 지난 30~40년간 해수면은 약 15cm 상승했다. 탄산가스 농도를 일정하게 유지하려면 탄산가스 발생량을 전세계적으로 약 75% 정도 감소시켜야 한다.

지구상에서 에너지를 생산하는 데에 근본적인 한계가 있기 때문에 태양에너지 개발이 더욱 중요성을 지닌다. 우리가 일년동안 지구상에 떨어지는 평균 태양에너지의 1% 정도를 화석연료나 핵발전에 의해서 생산한다면, 지구의 평균온도는 약 1도 상승하게 되고 이에 따라 기상조건에 막대한 변화가 초래될 것이다. 미국의 태양



에너지 생산밀도는 이미 태양에너지의 약 0.2% 수준에 도달해 있고, 도시지역의 경우 이보다 훨씬 높은 값을 나타내고 있다. 태양에너지만이 이러한 근본적인 열역학적 한계에 구애받지 않는다.

### 2.3.1 태양광발전의 개요 및 원리

태양광 발전은 태양 빛을 받으면 직접 전기를 발생하는 반도체 소자인 태양전지를 이용한 발전 방식이다.

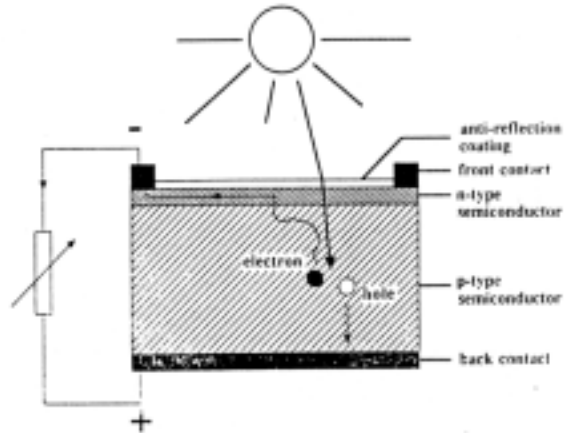
태양광 발전의 특성<sup>3)</sup>으로는 첫째로 태양광은 무한한 에너지원이다. 화석연료는 양이 한정되어 있으나 태양광의 수명은 반영구적인 점이다. 둘째, 깨끗한 에너지원이다. 태양전지는 빛을 직접 전기로 변환할 수 있으므로 보통의 발전시스템같이 석탄, 석유등의 화석연료를 연소시키거나 발전기를 돌릴 필요가 없다. 따라서 환경을 오염시키는 배기가스나 유해물질을 발생시키지 않고 소음도 없다. 셋째, 사용하는 장소에서 발전을 한다. 종래의 발전장치는 발전소와 전기를 사용하는 장소가 떨어져 있어 송전이 필요하였으나 태양전지의 경우는 소비하는 장소에 설치할 수 있다. 또한 조용하고 수명이 길 뿐 아니라 보수가 용이하고 자동화, 무인화가 가능한 장점이 있다. 단점으로는 에너지 밀도가 낮아 설치에 대면적을 필요로 하고, 일사 조건에 따라 발전 출력이 변하는 등 태양에너지 자체의 결점을 갖고 있다. 이와 같은 특징에 따라 주요 이용 분야로는 인공위성의 전원에서부터 유·무인 등대 및 관측 통신용 전원에 이르기까지 많은 이용 실적이 있고, 최근에는 도서 산간 벽지의 독립 전원, 소규모 주택용 및 대규모 분산형 전원으로 그 응용을 점차 확대하고 있는 상황이다.

태양전지의 동작원리는 반도체 p-n 접합으로 구성된 태양전지(Solar Cell)에 큰

---

3) 구와노 유기노리, 태양전지를 익숙하게 다룬다, 전파과학사, 1994,

에너지를 가진 파장영역의 태양광이 입사되면 광에너지에 의해 전자, 정공 쌍이 여기되고 분리된다. 이러한 전자와 정공이 이동하여 층과 층을 각각 음극과 양극으로 대전시킴으로써 기전력이 발생, 외부에 접속된 부하에 전류가 흐른다.



(그림 2.2) p-n접합으로 구성된 태양전지의 일반적인 구조

### 2.3.2 태양전지 구성요소

태양전지의 종류에는 실리콘계, 화합물 반도체, Tandem 형의 3가지로 크게 구분되며, 현재 쓰이고 있는 대부분의 태양전지는 단결정 실리콘, 다결정 실리콘, 비정질 실리콘 등이다<sup>4)</sup>.

태양전지 제조에 있어서 실리콘 태양전지의 경우 원료가공공정, 기판제조공정, Cell 제작공정, Module 조립공정을 거쳐 하나의 태양전지 Panel을 만들며, 사용할 때는 여러개의 Panel을 조합시킨 Array 군으로 만들어 이용한다.

4) 박원희, 한국화학공학의 과제, 금빛출판사, 1997.4, p.68~79

태양광 발전 시스템의 주요 구성 기본 요소로는 태양전지와 직류를 교류로 바꾸는 변환장치 즉 인버터가 필요하며, 전기를 사용하지 않을 때는 발생된 전기를 저장하기 위한 축전지 및 제어장치가 부수적으로 설치되어야 한다.



(그림 2.3) 태양전지의 셀, 모듈, 어레이

### 2.3.3 태양전지의 종류

건축에 적용가능한 태양전지는 결정질 실리콘, 비정질 실리콘, 다결정 박막형 태양전지가 있다. 전세계적으로 이 솔라셀의 개발현황은 매우 활발하며 기술수준은 아래와 같다<sup>5)</sup>.

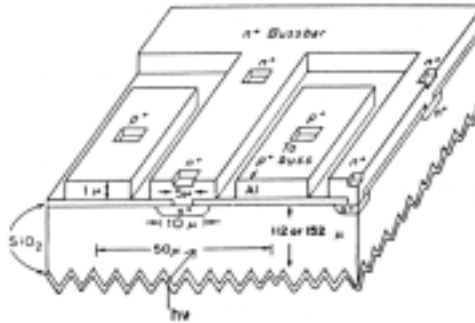
#### 1) 결정질 실리콘

##### (1) 개요

결정질 Si는 크게 단결정 형태와 다결정 형태의 재료로 나뉘며 기본적으로 p-n 동종접합으로서 태양전지에 사용된다. 단결정은 순도가 높고 결정결함 밀도가 낮은 고품위의 재료로서 당연히 높은 효율을 달성할 수 있으나 고가이고, 다결정 재료는 상대적으로 저렴한 재료를 저렴한 공정으로 처리하여 상용화가 가능한 정도의 효율의 전지를 낮은 비용으로 생산하기 위해 사용된다. 단결정 Si를 사용한 전지는 집광장치를 사용하지 않은 경우의 기록이 약 24%정도이며 집광장치를 사용한

5) 김동환외, 태양전지 재료로서의 반도체, 대한금속학회지 제10권 제1호, 1997, pp.16~26

전지는 28%이상의 효율이 발표되었는데, 효율의 도달한계치는 단결정이 35%, 다결정이 19% 정도인 것으로 예측된바 있다.



(그림 2.4) Si 단결정으로 제작된 Rear point-contact 태양전지의 구조

### (2) 전극함몰형 태양전지(Buried-Contact Solar Cell, BCSC)

호주 New South Wales 대학의 Green 그룹에 의하여 개발된 이 디자인의 주요 특징은 일반적으로 상용화되어 있는 screen-printed 전지에서 전면전극의 기능을 희생시키지 않으면서도 전극이 빛을 차단하는 면적을 현저하게 감소시켰다는 점이다. 전면전극의 수평방향 폭을 90도 회전시켜 Si 기판 내부에 설치함으로써 이러한 효과를 얻었는데, 이를 위하여 Si 기판에 groove를 형성시키는 별도의 공정을 레이저 또는 wheel blade 등의 mechanical scribing 으로 행한다. 이 시스템은 집광장치가 없는 flat-panel 이다.

### (3) 다결정 Si전지(sheet 형태)

전지의 효율을 높이는 대신 생산 비용을 낮추기 위하여 다결정 기판을 사용하는 방법으로서, 기판은 크게 두 가지 방법으로 생산된다. 용융된 Si로부터 얇은 리본 형태로 다결정 기판을 성장시키거나 단순히 응고시킨 덩어리를 원하는 웨이퍼 형태로 절단하는 방법이 있다.

다결정 Si는 단결정 Si보다 훨씬 많은 결정결함과 불순물을 함유하고 있으므로, 다결정 Si의 성능을 향상시키기 위해 여러종류의 공정이 연구된다. 이 중 가장 주목할 만한 것은 불순물 포집과 결정결함을 전기적으로 중성화시키기 위한 수소 중화처리를 들 수 있다.

#### (4) 다결정 Si 박막 전지

태양전지분야에서 “박막”이라는 용어는 대체로  $5\mu\text{m}$  이하의 두께를 의미하는데, Si 전지를 논할 때에는 경우에 따라  $100\mu\text{m}$  이상의 막도 “박막”이라고 지칭한다. 이는 Si의 광학적인 성질, 즉 광흡수 계수가 상대적으로 낮으므로 전지의 두께를 약  $200\mu\text{m}$  정도로 하여야 입사광을 90%이상 흡수할 수 있기 때문에 두께를 이보다 낮게 하면서 Si을 기판위에 성장시켜서 전지를 구성하였을 때 “박막형” Si 전지라고 부르는 경향이 있다. 기술의 진보와 함께 두께  $50\mu\text{m}$  이하의 전지가 활발하게 연구되고 있고 경우에 따라서는 수 $\mu\text{m}$ 두께의 전지도 발표된 바 있어서 “박막”의 범주에 가깝게 접근하고 있다.

박막형 Si전지에 대한 개념은 Redfield에 의하여 제시된바 있는데 optical confinement 모델링에 의한 계산을 통하여  $2.5\mu\text{m}$  두께로도 고효율을 달성할 수 있으며, Spitzer 역시 optical confinement와 minority-carrier “mirror”를 결합하여 고효율 박막 전지에 대한 가능성을 이론적으로 제시하였다.

박막형전지는 일반적으로 용융된 Si를 도체 또는 부도체 기판위에 입혀서 다결정막을 얻는 방법으로 제작된다. 예로서, honeywell 그룹은 mullite기판에  $250\mu\text{m}$  두께의 막을 입혀서 10% 이상의 효율을 구현하였다. Feldman 그룹은  $\text{TiB}_2$ 로 코팅된 사파이어 또는 알루미늄 기판위에  $22\mu\text{m}$  막을 입혀서 3.1%의 효율을 얻었다.

## 2) 비정질 실리콘

### (1) 개요

비정질 Si은 결정질 Si 과는 판이하게 다른 전기 및 광학적 특성을 나타내기 때문에 1~2 $\mu\text{m}$  정도의 “박막형”으로 태양전지를 구성한다. 즉, 광흡수계수가 매우 크기 때문에 박막으로도 입사광 전체를 흡수할 수 있으며 흡수단도 1.7eV에 존재한다. 박막형 a-Si 전지는 소위 “p-i-n” 접합으로 구성되는데, 이는 도핑되지 않은 부도체 a-Si층이 p-층과 n-층 사이에 놓인 형태이며, 대면적 생산에 매우 유리한 장점을 갖고 있다. 단일 접합으로 12% 이상의 효율이 기록되어 단결정 Si전지의 주요 경쟁자로서 이미 활발히 상용화되어서, 박막형 태양전지 중에서는 가장 대량생산 및 시장화에 접근된 기술이다. 주로 계산기나 시계 등의 소형 가전제품에 정착되어 생활주변에서 가장 많이 눈에 띄는 전지로서 현재는 건물의 창 또는 외벽에 설치되어 대량 전력 생산을 위한 시험 가동중인 단계에 있다.

비정질 Si 전지에서 해결되어야 할 문제중 가장 중요한 것은 안정성이다. 전지가 빛에 노출되면 재료 내의 원자결합구조에 변화가 초래되어 전지의 효율이 시간에 따라 감소된다. 이 현상을 Staebler-Wronski효과라고 하며 매우 활발히 연구된 바 있으나 근본적인 해결보다는 전지의 작동이 이 효과에 의해 영향을 덜 받도록 디자인함으로써 안정성을 향상시킨다. 비정질 Si전지에 대한 모델링 계산에 의하면 전지의 효율은 p-층의 낮은 전기전도도와 높은 dangling bond 밀도에 의해 제한된다.

### (2) 비정질 Si 합금

비정질 Si 태양전지는 주로 일본을 중심으로 상용화가 본격적으로 추진되고 있으며, 현재 주로 건물의 외벽등에 설치, 대량 전력생산을 위한 시험가동을 하고 있다. 비정질 Si 전지의 특성은 유연성이 좋은 플라스틱 기판위에 증착시킬 수 있다는 점

이며 따라서 수송 및 설치가 매우 간편하다는 점이다.

비정질 Si합금이 주목받는 이유는 다음의 두가지로 요약될 수 있다. Si이 Ge 및 C와 합금되면 밴드갭이 조성에 따라 변하므로 다중접합전지를 구성할 가능성이 있으며, 또한 단일 접합에서도 이미 p-층에 a-SiC가 사용되고 있기 때문이다. 태양광이 p-층에서 흡수되지 않고 i-층에서 주로 흡수되도록 a-Si보다 밴드갭이 큰 a-SiC를 p-층으로 사용한다.

### 3) 다결정 박막형 태양전지

#### (1) 개요

박막 태양전지용으로 재료를 선택하는 기준은 밴드갭등의 재료 고유의 특성과 함께 대량생산에 적합한 공정의 적용이 가능한가 하는 등의 경제성 측면이 중요하다.

박막 태양전지의 재료로서 활발히 상용화가 추진되고 있는 재료는 앞에서 비정질 Si 와 함께  $\text{CuInSe}_2$ (CIS) 및 CdTe 등 세가지이다. 이 중 CIS 전지는 계속 효율에 대한 기록경신이 이루어져 최근 17%라는 놀라운 효율이 발표된바 있으며 미국, 유럽, 일본등에서 경쟁적으로 연구되고 있으나 재료자체가 갖는 복잡성 때문에 대량 생산을 위한 개발에 시간이 걸릴 것으로 보인다. CdTe는 지난 3년동안 최고효율 15.8% 의 기록이 경신되지 못하여 상대적으로 정체되어 있는 것처럼 보이나 재료나 전지구구조의 단순성 때문에 대량생산 및 상용화가 급속히 이루어 질 전망이다.

#### (2) $\text{CuInSe}_2$ 태양전지( Copper-Indium-Diselenide Solar Cells, CIS Cells)

다결정 박막 CIS 전지는 p-n 이종접합 구조를 기본으로 하는데 Mo으로 코팅된 유리기판 위에 p-형 반도체인 CIS 층을 증착하고 그 위에 n-형 CdS를 주로 화학적 용액성장법(CBD) 으로 입히고 투명전극층인 ZnO를 스퍼터링 법으로 증착한 후 금

속 전극을 입힌다. 이미 4 ft<sup>2</sup> 모듈에서 11% 효율이 기록된 바 있으며 실험실에서는 17%를 상회하는 효율이 재현성있게 기록되고 있다. CIS층은 진공증착 또는 금속막을 증착한 후 selenization 공정을 거치는 2단계 방법 등으로 만들어 진다. CIS의 밴드갭이 1.0eV 로서 비교적 작은 편이므로 다른 종류의 전지보다 Jsc가 크고 Voc가 낮다. 최근의 경향은 Voc를 증가시키기 위하여 Ga등의 원소를 합금시켜 물성 및 전지 효율에 대한 영향을 조사하는 것이다.

### (3) CdTe 태양전지 (Cadmium Telluride Solar Cells)

CdTe는 밴드갭이 1.45eV로서 이론적으로 이상적인 값을 갖고 있으며 전기적 및 광학적 특성이 태양전지재료로서 적합한 것으로 알려져 있으나 무엇보다도 중요성은 물질의 합성이 쉽다는 점이다. 현재까지 다양한 방법, 즉 근접승화법(CSS), 진공증착법, 전착법, screen printing, spray pyrolysis, metallorganic chemical vapor deposition(MOCVD)등의 방법이 사용되어 10% 이상의 효율이 입증되었다.

<표 2.5> 태양전지 종류

	의 미	특 징		성 능	가 격	물 질
		장 점	단 점			
단결정질 (monocry- stalline)	원자가 배열되어 있는 방향이 균일한 물질	순도높음 결정결함 낮음	고가	높은 효율 (24%)	고가	Si, GaAs
다결정질 (polycry- stalline)	원자가 규칙적으로 배열되어 있으나 배열 방향이 서로 다른 여러 부분으로 구성되어 있는 물질	비교적 순도가 낮음 비용이 적게 드는 생산방법 사용가능	효율이 낮으며 불균일하다.	중간효율 (19%)	중저가	Si, CuInSe <sub>2</sub> , CdTe
비정질 (amorphous)	분자가 무작위로 배열되어 규칙이 없는 경우	대면적 전지를 균일하고 저렴하게 제작 가능. 유연성있는 기판 위에 제작 가능	효율이 낮고 시간에 따라 더욱 낮아지는 현상을 보인다.	낮은효율 (12%)	저가	Si



## 2.3.4 태양전지 시스템

### 1) 태양전지에 적용되는 기준

태양전지가 건축에 적용되기 위해서는 비용과 효율 및 안정성 면에서 적합한 조건을 갖추어야 한다. 비용면에서 조건을 갖추기 위하여 취할수 있는 방법은 두 가지로 대별될 수 있다. 비교적 고가의 재료와 단결정을 사용하여 태양전지를 제작하고 집광장치를 부착하여 수백배로 강화된 빛을 전지에 조사하는 방법이나 저가의 다결정 또는 비정질 재료를 사용하여 박막형태로 대면적 전지를 구성하고 집광장치 없이 사용하는 방법이 있다.

건축에 적용된 태양전지가 갖추어야 할 요건으로 수명이 있다. 일반적으로 20년 이상이 요구된다. 당연히 태양전지가 실용성이 있기 위해서는 생산된 에너지의 양이 전지를 제작하는데 사용된 에너지의 양보다 월등히 많을 정도의 수명이 보장되어야 한다. 실제로 태양전지 성능의 안정성은 재료에 따라 심각한 문제로 대두된 바 있다.

태양전지가 갖추어야 할 조건을 살펴보면 재료가 차지하는 비중이 매우 크고 따라서 재료에 관련된 문제와 재료의 선택이 전체 연구개발의 대부분을 차지하고 있다고 해도 과언이 아니다. 태양전지의 성능을 위하여서는 재료와 공정에 관련되어 있는 20~30가지의 변수를 제어해야 한다고 제시되고 있다.

### 2) 태양전지의 변환 효율

태양전지의 변환효율(Energy Conversion Efficiency)은 입사되는 태양복사광 에너지와 태양전지의 단자에서 나오는 전기 출력에너지의 비를 퍼센트로 표시한 것이

다. 국제 전기규격 표준화위원회(IEC TC-82)에서는 지상용 태양전지에 관해 태양 복사의 공기질량 통과조건이 통과공기질량(AM : Air Mass) 1.5로 100mW/cm<sup>2</sup>의 입력 광 파워에 대해 부하조건을 바꿀 경우의 최대 출력과 비율을 백분율로 표시한 것을 공칭효율이라 정의하고 있다<sup>6)</sup>.

이와 같은 변환효율로 태양전지가 생산하는 전력을 알 수 있다.

$$\text{태양전지효율(\%)} = \frac{\text{발전량}}{\text{태양에너지}} \times 100$$

대상건물에 적용가능한 태양전지를 설계한 뒤 태양전지의 효율로 생산되는 전력량을 계산하여 건물에 요구되는 전력부하중 태양광발전으로 담당할 수 있는 비율을 살펴본다. 현재 건물에 적용되고 있는 태양전지는 효율 14%의 panel을 이용한다.

### 3) 태양광 발전 시스템

태양광 발전 시스템에는 독립방식과 연계방식이 있다.

독립방식은 전력회사의 전기를 공급받을 수 없는 공간에서 사용되며 주로 산간지역이나 외딴 섬의 전력으로 이용되고 있다. 태양에너지를 얻을 수 있는 동안 생산된 전력을 축전지에 저장하였다가 그렇지 않을 때에 사용한다.

연계방식은 분산 연계방식과 집중 연계방식의 두가지 방식이 있다.

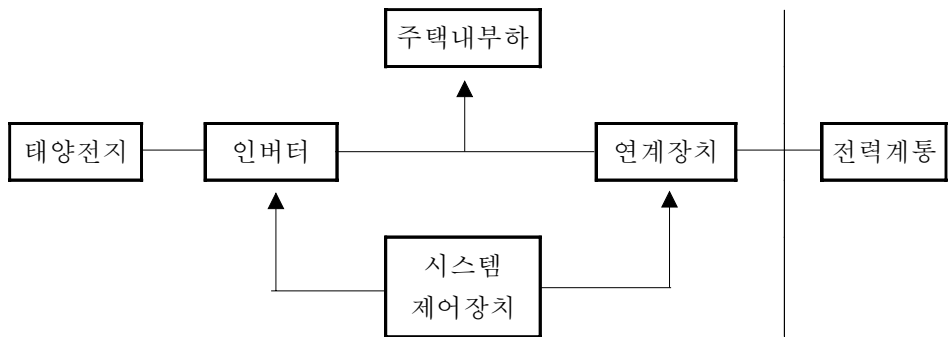
분산 방식은 태양전지 Array를 개인주택이나 연립주택, 공장, 학교, 공공건물 등의 지붕에 설치하고 축전지와 직류·교류 변환장치도 수요처에 설치함으로써 생산

---

6). Alan L. Fahrenbruch, Fundamentals of Solar Cells. ACADEMY PRESS. pp.26~37, 1983.

되는 전력은, 우선발전을 하는 수요처에서 소비하고, 잉여 전력이 발생할 경우에는 저전압 혹은 고전압 계통선 전력망에 공급하며, 반대로 부족한 경우에는 계통선으로부터 전력을 공급받는 방식이다.

집중연계방식은 태양전지 Array를 여러동의 개인주택이나 연립주택의 지붕 혹은 광활한 토지에 설치한 다음, 생산되는 전력을 어느 일정 규모로 모아서 하나의 직류·교류변환 장치에 의해 교류로 변환하여 계통선 전력망과 연계시키는 방식이다. 따라서 이 방식에서는 생산 전력은 모두 일단 계통선 전력망에 입력된 후, 다시 계통선으로부터 수요처에 전력을 공급하게 된다.



(그림 2.5) 계통연계형 태양광 발전시스템 구성도

### 2.3.5 PV시스템 발전량 계산방법

PV시스템 발전량의 예측방법은 파라미터 분석법, 정격 변환효율에 의한 방법, 전압·전류 특성식에 의한 방법 등 3가지로 나눌 수 있다. 그중 정확성이 가장 뛰어난 전압·전류에 대한 비선형 방정식인 Newton-Raphson법을 서술하면 (식2.1)과 같다.

$$IA = IL + I_o(1 - \exp \frac{-q(V + R_s IA)}{n \cdot k \cdot t_c}) - \frac{V + R_s IA}{R_{sh}} \quad (\text{식2.1})$$

$$I_o = C_o \cdot t_c \cdot \exp \frac{-q \cdot E_g}{n \cdot k \cdot t_c} \quad (\text{식2.2})$$

여기서, IA : 출력전류[A/cm<sup>2</sup>]  
 IL : 광 기전류[A/cm<sup>2</sup>]  
 I<sub>o</sub> : 포화전류[A/cm<sup>2</sup>]  
 q : 전자의 전하량[C]  
 V : 전압[V/cm<sup>2</sup>]  
 R<sub>s</sub> : 직렬저항[Ω · cm<sup>2</sup>]  
 n : 접합정수[-]  
 k : 볼츠만 상수[J/K]  
 t<sub>c</sub> : 태양전지면 절대온도[K]  
 R<sub>sh</sub> : 병렬저항[Ω · cm<sup>2</sup>]  
 C<sub>o</sub> : 포화전류 온도계수[-]  
 E<sub>g</sub> : 에너지 갭[eV]

곡선인자의 특성을 이용하여 전압전류특성식을 나타내면 (식2.3)로 정의된다.

$$\text{곡선인자} = \frac{I_{opt} \times V_{opt}}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{P_{max}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (\text{식2.3})$$

$$P_{max} = V_{oc} \times I_{sc} \times \text{F.F.} \quad (\text{식2.4})$$

여기서, I<sub>sc</sub> : 단락전류[A/cm<sup>2</sup>]  
 V<sub>oc</sub> : 개방전압[V/cm<sup>2</sup>]

여기에서  $V_{opt}$ (최적동작 전압) 및  $I_{opt}$ (최적 동작 전류)는  $P_{max}$ (최대 발전량:출력 전압과 출력 전류의 면적이 최대가 되는 점) 에서의 전압과 전류를 의미한다. (식 2.1)에서  $I_L=I_{sc}$ ,  $V=V_{oc}$ 일 경우  $I_A=0$ 이므로  $V_{oc}$  및  $I_{sc}$ 는 (식2.5)와 (식2.6)으로 정의된다.

$$V_{oc} = \frac{n \cdot k \cdot T_c}{q} \ln\left(\frac{I_{sc}}{I_0} + 1\right) \quad (\text{식2.5})$$

$$I_{sc} = ILO \frac{R_t}{R_{to}} / cellA \quad (\text{식2.6})$$

여기서,  $ILO$  : 표준상태의 광기전류[A]  
 $R_t$  : 태양전지면 입사 일사량[W/m<sup>2</sup>]  
 $R_{to}$  : 표준상태에서의 태양전지면 입사 일사량[W/m<sup>2</sup>]  
 $cellA$  : 태양전지의 셀면적[cm<sup>2</sup>]

### 2.3.6 국내외 태양광발전 현황

#### 1) 미국

1960년대부터 태양광 발전을 인공위성의 전원으로 이용해 온 미국은 지상용 태양광 발전시스템의 실용화를 위하여 1972년부터 5년 주기의 National Photovoltaic Program을 수립하여 기술개발을 추진해오고 있다. 최근에는 태양전지의 효율향상과 가격 목표를 달성하기 위한 기술개발과 병행하여 태양전지의 저가 제조기술을 개발하기 위한 PVMaT(Photovoltaic Manufacturing Technology) Project와 태양광발전의 상업화에 필요한 실증 실험 및 주변장치의 가격을 낮추기 위한 시스템 기술개발을 목적으로 하는 PVUSA(Photovoltaic Utility Scale Application) Project, 2000년

까지 1000 MW의 시스템을 설치 보급하기 위한 SOLAR2000 계획 및 태양광 발전 기술을 건물에 적용하기 위한 PV:BONUS 계획이 동시에 추진되고 있다. 또한 개발된 제조기술을 상업화하기 위해 관련 제조업체들로 구성된 Photovoltaic Utility Group이 주관하는 TEAM-UP(Technical Experience to Accelerant Market) Project도 추진되고 있다.

## 2) 일본

일본은 1974년에 태양광발전기술을 개발하기 위한 국가 주도의 Sunshine Project를 수립하여 추진하였으며, 1980년에는 신에너지기술종합개발기구(NEDO)를 설립함으로써 본격적인 태양광 발전 기술의 개발에 착수하였다. 이와 함께 1987년에는 기업과 연구기관 등으로 태양광발전회(JPEA, Japan Photovoltaic Energy Association)를 구성하여 기술 및 시장에 관한 정보교환과 공동연구를 수행하고 있다. 1990년에는 24개 기업과 2개 단체로 태양광발전 기술연구조합(PVTEC, Photovoltaic Power Generation Technology Research Association)이 결성됨에 따라 정부와 기업 및 연구소의 상호 협력뿐만 아니라, 대민 홍보와 연구개발의 기능을 수행하고 있다. 특히 1993년에는 경제성장, 에너지, 환경보전에 대한 균형있는 대책과 종합적인 기술개발을 위하여 기존의 Sunshine Project, Moonlight Project 및 지구환경 기술개발 계획을 통합한 New Sunshine Program(에너지 환경 영역 종합 기술개발 추진계획)을 수립하여 체계화하였다.

## 3) 유럽(EC)

유럽공동체(EC)의 태양광 발전 기술개발은 1975년 이후 꾸준히 계속되고 있다. 1989년부터는 1차 3년 3개월의 계획기간을 가진 Non-Nuclear Energy Program JOULE(Joint Opportunities for Unconventional or Longterm Energy Supply)계획을 수립하여 태양광발전 기술의 연구개발을 계속 추진하고 있다. 1994년까지의

JOULEII 계획은 상업화를 목적으로 다결정 규소 태양전지 제조기술개발과 태양광 발전 시스템에 대한 연구에 중점을 두고 있다. 또한 저가의 박막 태양전지를 개발, 실용화하기 위한 목적으로 EUROCIS 컨소시엄을 구성하여 독일을 중심으로 CuInSe<sub>2</sub> 태양전지 연구에 주력하여 괄목할 만한 성과를 얻고 있다.

이와는 별도로 유럽 각국은 자체적인 장기계획에 의해 태양광발전 기술개발을 추진하고 있으며, 독일의 소규모 태양광 발전 시스템의 실증 실험 및 개인 주택에의 실용화 보급을 위한 '2250 Roofs Project, 이탈리아의 100kW급 태양광 발전 시스템의 표준화 및 보급을 위한 PLUG Project, 스위스의 MW House Project 및 프랑스의 PV 20 Project가 진행되고 있다.

태양광 발전 기술의 실용화를 위해서는 상용 전력과 경쟁이 가능한 발전 단가 수준의 태양전지를 대량생산하고, 동시에 신뢰성과 이용효율이 높은 시스템을 개발하여야 하므로 2000년대 초까지 1 \$/Wp의 모듈 가격과 5~6 ¢/kWh의 발전단가 실현을 개발목표로 설정하고 있다. 그러나 현재의 태양전지 가격은 \$ 4.5~5.5 /Wp 수준이므로 새로운 고효율 박막 태양전지 재료의 개발에 치중하고 있으며, 응용제품의 다양화뿐만 아니라 응용분야를 확대하기 위한 이용기술, 시스템의 신뢰성 향상과 최적화를 위한 실증 실험, 그리고 측정 및 평가기술 개발도 각국에서 활발히 진행되고 있다.

미래의 태양광 발전은 우주공간에서의 태양광 발전과 microwave 송전(SPS), 사막 지대의 대규모 태양광발전에 의한 초전도 송전 또는 수소 생산 이용 등이 구상되고 있으며, Zero energy 개념의 지하공간, 또는 해상 구조물 전원으로서의 이용도 검토되고 있다.

#### 4) 국내

국내의 태양광발전 기술개발은 결정질 규소 태양전지와 주변장치의 국산화와 이용 기술의 개발을 실현하고, 저렴한 가격의 고효율 박막 태양전지의 기초기술의 확

보와 주변 장치의 저가화와 신뢰도를 확립함으로써 실용화의 기반을 구축하였으며, 향후 박막 태양전지의 상용화와 응용기술의 저변 확대를 통한 태양전지 보급확대와 태양광발전 시스템의 실용화를 목표로 설정하고 있다.

현재 국내에는 전남 하화도, 제주 마라도, 충남 호도 등 3개의 태양광발전소가 운용중에 있다. 이중 1993년 1월에 설치된 충남 호도의 100kW급의 태양광발전소는 국내 최초의 국산기자재로 건설한 태양광발전소이며, 전남 하화도는 '95년에 기존 25kW급을 60kW급으로 증설하였다.

태양광발전시스템은 소규모 도서의 경우 디젤발전과 발전원가가 비슷할 뿐만 아니라 디젤발전의 소음, 유류수송의 문제점을 해결하고, 유지관리보수가 용이하여 소규모 도서의 발전원으로 적용되기에 적합한 것으로 분석되었다.

최근 한전에서는 50kW급 계통연계형 태양광 발전 시스템을 개발했는데, 계통연계형 태양광 발전 시스템은 독립형 발전시스템이 축전지에 전력을 담아 두었다가 야간에 이용하는 것과는 달리 생산된 전력이 한전의 전력계통에 연결되는 특징이 있다. 이 시스템이 상용화되면 전력수급 불균형 해소에 큰 도움을 줄 수 있을 것이다



## 제 3 장 태양전지 적용 사례 분석

### 3.1 지붕면 적용

#### 3.1.1 경사지붕 적용



(그림 3.1) 광주비엔날레 전시관



(그림 3.2) 스위스 브리그주택

지붕의 경사면을 이용해 태양전지판을 설치하는 경우이다. 주택부분에 많이 적용되고 있으며 대부분의 지붕부착형 태양광발전이 적용되고 있다.

(그림 3.1)은 광주시 비엔날레 행사장내에 위치해 있는 전시관 건물이며, 태양전지에 의해 생산된 전력은 전시관 내부 조명부하로 쓰이고 있다. 1997년 지역에너지사업으로 시설되었으며, 송전형태는 독립식 계통전환 방식이다. 시스템 규격은 10kWp의 태양전지와 900kWh의 축전지, 24kVA의 인버터를 사용하고 있다.

(그림 3.2)의 스위스 브리그주택도 경사진 지붕에 태양전지가 적용되었다.

#### 3.1.2 옥상 적용

경사진 지붕면을 이용하는 것이 아니라 건물이 평지붕일 때 태양전지판을 지지대로 이용하여 설치하는 예이다.



(그림 3.3) 삼성기술원 연구소



(그림 3.4) 가리왕산 대피소

경기도 기흥에 위치한 삼성종합기술원에 적용된 태양전지는 단결정 Si 전지의 웨이퍼를 사용하여 100kWp 규모의 발전을 하고 있다. 인버터는 60kVA와 40kVA가 설치되었고, 단방향 계통연계방식으로 송전되고 있다. 국내 최대 규모의, 건물에 적용된 태양광발전 시설이며 현재 건물 전기 부하의 약 30%를 담당한다.

### 3.1.3 아취형 지붕에 적용



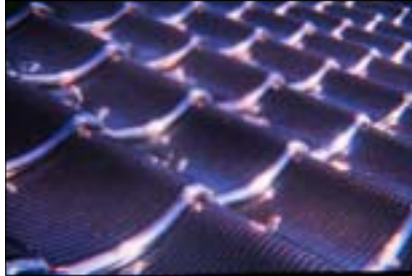
(그림 3.5) 조지아 공대 수영장



(그림 3.6) 아취형 지붕 설치

1996년 아틀란타 올림픽 수영경기장으로 사용하기 위해 신축되었으며 대규모 PV 시스템이 아취형 천장에 적용되었다. 340kW 급 규모의 PV 시스템이 설치되었다.

### 3.1.4 전지기와



(그림 3.7) 태양전지 기와



(그림 3.8) 태양전지 기와

일본에서 개발되었으며, 기와자체가 태양전지로 이용할 수 있도록 제작되었다. 태양전지가 건축자재로 사용되므로써 전기에너지 절감과 더불어 초기 건축비가 절감될 수 있도록 개발된 사례이다.

## 3.2 벽면 적용

### 3.2.1 경사벽에 적용



(그림 3.9) 라이덴 주택

경사진 벽면에 태양전지판을 설치하는 경우이다. 건물과의 통합설계를 통하여 건물의 미적가치를 향상시킬 수 있다.

네덜란드 라이덴 주택의 경우 기존에 지어진 주택 5세대의 지붕과 벽면에 태양전지판을 적용하였다. 각 세대당 단결정 Si 전지판을 설치하여 2.3kWp의 전기를 공급한다. 남측면 경사진 부위에 태양전지를 설치하였다.

아래 사진은 리노베이션 전과 후의 건물을 비교한것이다.



(그림3.10)리노베이션전



(그림3.11)리노베이션후

### 3.2.2 수직벽에 적용



(그림3.12) 스위스 디에타콘건물



(그림3.13) 스위스 윈터투르빌딩

스위스 디에타콘 지역과 윈터투르 지역에서 적용된 건물로, 수직벽에 태양전지판을 설치함으로써 쉽게 설계가 가능하다. 기존 건물에도 적용이 용이한 사례이다.

### 3.2.3 부속건물



(그림3.14) 스위스 스택본 교회



(그림 3.15) 부속건물벽에 설치된 태양전지

부속건물을 이용하여 태양전지를 적용하는 경우이다.

스위스에 위치한 스택본교회는 부속건물의 벽면 전체에 태양전지를 설치하였는데 태양광발전으로 교회건물에 연결된 3개의 건물에 필요한 전기를 생산한다.

부속건물의 벽면 전체에 부착하여 적용한 사례이다.

### 3.2.4 벽면 부착



(그림 3.16) 측벽에 부착



(그림 3.17) 측벽 적용

스위스 리에스탈 지역에 적용된 태양전지는 층과 층사이에 설치하여 벽면에 부착

되어 적용되었다. 층사이의 돌출된 부위에 설치하여 창을 통한 조망과 통풍을 방해하지 않으면서 전력을 생산할 수 있도록 하였다.

### 3.2.5 유리창에 적용



(그림 3.18) PV 커튼월



(그림 3.19) PV스킨

미국의 상업용 건물에 설치되었으며, 특별히 조망이 필요하지 않은 남측유리창에 적용하기 유리하다.

(그림 3.18)은 창문의 세로창살에 태양전지가 설치되었으며, PV 커튼 월 형태로 부착된 예이다.

(그림 3.19)는 뉴욕에 세워진 건물로 박막 PV panel을, 38층과 48층사이에 PV 커튼 월 방식으로 설치하여 기존의 글래스 월방식을 대체하였다. 현재 가장 진보된 형태의 PV 스킨이다.

### 3.2.6 수평차양장치 적용

(그림 3.20)과 (그림 3.21)은 네덜란드 연구소 건물의 수평 차양장치 부분에 적용된 태양전지이다



(그림 3.20) 수평차양부위에 적용된 태양전지



(그림 3.21) 내부공간

태양전지로 냉방기 과도한 일사를 차단하면서 전력을 공급받을 수 있다. 수평 차양장치 설치시에는 태양 고도에 따라 차양깊이를 결정해야 한다.

다음의 식으로 차양장치의 길이를 구할 수 있다.

$$\text{Shadow} = (\text{Depth of overhang}) \times \sin\theta$$

$\theta$  : 태양고도

### 3.3 옥외공간

#### 3.3.1 주차장 지붕에 적용



(그림 3.22) 한라산 국립공원



(그림 3.23) 학교 주차장

(그림 3.22)는 한라산 국립공원 주차장내에 설치된 태양전지로 환경을 최대한 보존하면서 필요한 전력을 획득하는 시스템이며, (그림 3.23)은 풀무원 농업학교내의 주차장에 적용한 태양전지이다.

### 3.3.2 분수대



(그림 3.24) 분수대

태양전지를 이용해 분수대의 동력으로 사용한다. 한번 설치로 영구적인 에너지를 얻을 수 있어 환경친화적인 분수대이다.

### 3.3.3 가로등



(그림3.25)가로등(낮)



(그림3.26) 가로등(밤)



태양전지를 가로등에 적용한 사례이다. 이미 에너지기술 연구소내에 설치되었으며, 고속도로변과 박람회장내에도 적용이 되고 있다.

### 3.3.4 야외창고



(그림 3.27) 야외간이창고

야외창고에 설치하여 필요한 전력을 공급하는 적용사례이다. 창고에 설치된 여러 기기에 바로 전력을 공급하도록 설치되었다.

### 3.3.5 외부전력탑



(그림 3.28) 외부전력탑

야외에 세워져있는 전력탑에 태양전지를 부착하여 전력을 생산하는 사례이다. 설치된 곳에서 바로 전력을 생산하므로 많은 장점을 가지고 있다.

### 3.3.6 이동식 설치



(그림3.29)이동식태양전지



(그림 3.30) 이동식 태양전지

간이 건물에 적용되는 이동식 태양전지로서, 필요한 장소에서 전력을 바로 생산할 수 있는 장점이 있다.

### 3.3.7 건물 주위공간



(그림 3.31) 건물 주위공간

태양전지를 건물에 부착하여 전력을 생산할 수 있지만, 건물주변의 일사가 좋은 공간에 설치하여 전력을 생산할 수 있다.

### 3.3.8 건물과 건물사이의 corridor 부분



(그림 3.32) corridor에 적용된 태양전지



(그림 3.33)태양전지 corridor

독일에서 적용되었으며, 건물과 건물사이의 corridor에 적용되어 길이 35m와 폭 5m의 공간을 실내공간으로 이용할 수 있게 설계되었다. 적용된 태양전지는 8kWp 급 규모의 다결정 태양전지이며 공동부분의 전력으로 사용된다.

### 3.3.9 간이지붕



(그림 3.34) 간이지붕

영국 런던에 위치해 있는 Cardinal Hinsley school에 적용되었다. 1998년에 설치되었으며, 0.7kWp급의 태양전지가 설치되어 있다.

<표 3.1> 지붕면, 벽면 적용

적용부위	세부적용	내용
지붕면	경사지붕	지붕의 경사면을 이용해 태양전지판을 설치하는 경우이다. 주택부분에 많이 적용되고 있으며 대부분의 지붕부착형 태양광발전에 적용되고 있다.
	옥상가설	경사진 지붕면을 이용하는 것이 아니라 건물이 평지붕일 때 태양전지판을 지지대를 이용하여 설치하는 예이다. 국내의 삼성기술연구원과 한국과학기술원에 적용되었다. 삼성기술연구소의 경우에는 100kWp규모의 발전을 하며 건물전기부하의 30%를 담당한다.
	아취형 지붕	1996년 아틀란타 올림픽 수영경기장으로 사용되기위해 신축되었으며 대규모 PV시스템이 아취형 천장에 적용되었다. 340kW 급 규모의 PV 시스템이 설치되었다.
	전지기와	일본에서 개발되었으며, 기와 자체는 태양전지로 이용할 수 있도록 제작되었다. 태양전지가 건축자재로 사용된다.
벽면 적용	경사벽	경사진 벽면에 태양전지판을 설치하는 경우이다. 건물과의 통합설계를 통하여 건물의 미적가치를 향상시킬 수 있다. 네덜란드 라이덴 주택의 경우 기존에 지어진 주택 5세대의 지붕과 벽면에 태양전지판을 설치하였다. 각 세대당 단결정 Si 전지판을 설치하여 2.3kWp의 전기를 발생한다.
	수직벽	건물의 수직벽에 태양전지판을 설치함으로써 쉽게 설계가 가능하고, 기존건물에도 적용이 용이하다.
	부속건물	태양전지판을 적용하기 위한 부속건물을 이용하는 경우이다. 스위스에 위치한 스택본교회는 부속건물의 벽면 전체에 태양전지를 설치하였다. 태양광발전 설비로 교회건물에 연결된 3개의 건물에 필요한 전기를 생산한다.
	벽면 부착	스위스 리에스탈 지역에 적용된 태양전지는 층과 층사이 에 설치하여 벽면에 부착되어 적용되었다. 층사이의 돌출된 부위에 설치하여 창을 통한 조망과 통풍을 방해하지 않으면서 전력을 생산할 수 있도록 하였다.
	유리창	미국의 상업용 건물에 설치되었으며, 특별히 조망이 필요하지 않은 남측유리창에 적용하기 유리하다. 창문의 세로창살에 태양전지가 설치됐으며, PV 커튼 월 형태로 부착된 예이다.
	수평차양	태양전지로 냉방기 과도한 일사를 차단하면서 전력을 공급받을 수 있다. 수평차양장치 설치시에는 태양 고도에 따라 차양깊이를 결정해야 한다. 아래의 식으로 차양장치의 길이를 구할 수 있다.

<표 3.2> 옥외공간 적용

적용부위	세부적용	내용
옥외공간	주차장	한라산 국립공원 주차장내에 설치된 태양전지로 환경을 최대한 보존하면서 필요한 전력을 획득하는 시스템이다.
	분수대	태양전지를 이용해 분수대의 동력으로 사용한다. 한번 설치로 영구적인 에너지원을 얻을 수 있어 환경친화적인 분수대이다.
	가로등	태양전지를 가로등에 적용한 사례이다. 이미 에너지기술 연구소내에 설치되었으며, 고속도로변과 박람회장내에도 적용이 되고 있다.
	야외창고	야외창고에 설치하여 필요한 전력을 공급한다.
	외부전력탑	야외에 세워져있는 전력탑에 태양전지를 부착하여 전력을 생산한다.
	이동식 설치	간이 건물에 적용되는 이동식 태양전지로서, 필요한 장소에서 전력을 바로 생산할 수 있는 장점이 있다.
	주위공간	건물에 부착하여 전력을 생산할 수 있지만, 건물주변의 일사가 좋은 공간에 설치하여 전력을 생산할 수 있다.
	corridor	독일에서 적용되었으며, 건물과 건물사이의 corridor에 적용되어 길이 35m와 폭 5m의 공간을 실내공간으로 이용할 수 있게 설계되었다. 적용된 태양전지는 7,956 Wp급 규모의 다결정 태양전지이며 공동부분의 전력으로 사용된다.
간이지붕	영국 런던에 위치해 있는 Cardinal Hinsley school에 적용되었다. 1998년에 설치되었으며, 0.7kWp급의 태양전지가 설치되어 있다.	

## 제 4 장 PV 시스템 전력 예측 시뮬레이션

### 4.1 전력 예측 컴퓨터 시뮬레이션

태양전지로부터 생산되는 전력량은 지역별 일사량, 태양전지판 설치위치, 경사각, 면적등에 의해 영향을 받는다.

공동주택의 경우 태양전지의 설치장소가 발코니 벽면, 옥상등 적용상 제약조건이 있다. 국내 기후조건에 따른 PV시스템의 전력 생산량 예측을 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 최적 경사각 및 방위를 도출하였으며, 이에따른 태양전지 면적당 생산된 전력량을 예측하였다.

<표 4.1> 시뮬레이션 개요

	변수
경사각	0° ~ 90°
방위	E ~ S ~ W
면적당 전력생산량	5 ~ 45 m <sup>2</sup>

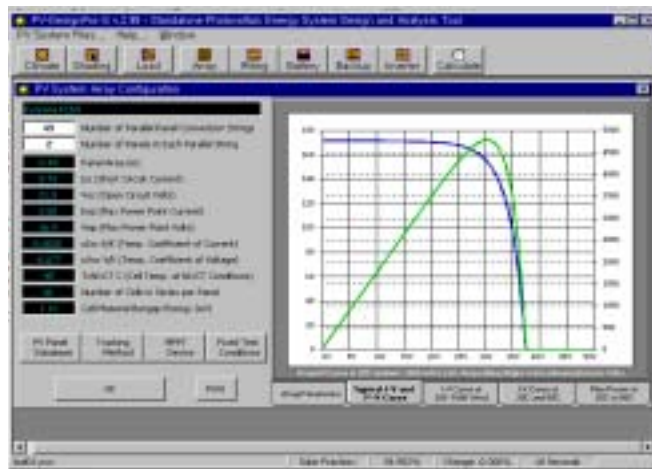
본 연구에서 전력량 예측을 위한 시뮬레이션에 사용한 컴퓨터 프로그램은 PV-DesignPro 이다.

#### 4.1.1 프로그램 개요

PV-DesignPro 프로그램은 선택된 기후와 시스템 디자인에 기초를 둔 뒤, PV 시스템 운영을 시뮬레이션 하기위한 시스템 디자인 프로그램이다.

미국 maui 소프트웨어사의 상용프로그램으로 해당지역의 기후데이터와 연계하여

태양전지판과 축전지, 인버터를 통해 PV 시스템이 설치된 건물의 전력량을 시뮬레이션 하는 프로그램이다. PV 시스템을 직접 설치하지 않아도, 적용하고자 하는 PV 시스템의 전력생산을 예측할 수 있는 프로그램이다. 태양전지로부터 생산되는 전력량을 알기위해 PV-DesignPro로 시뮬레이션 하였다.



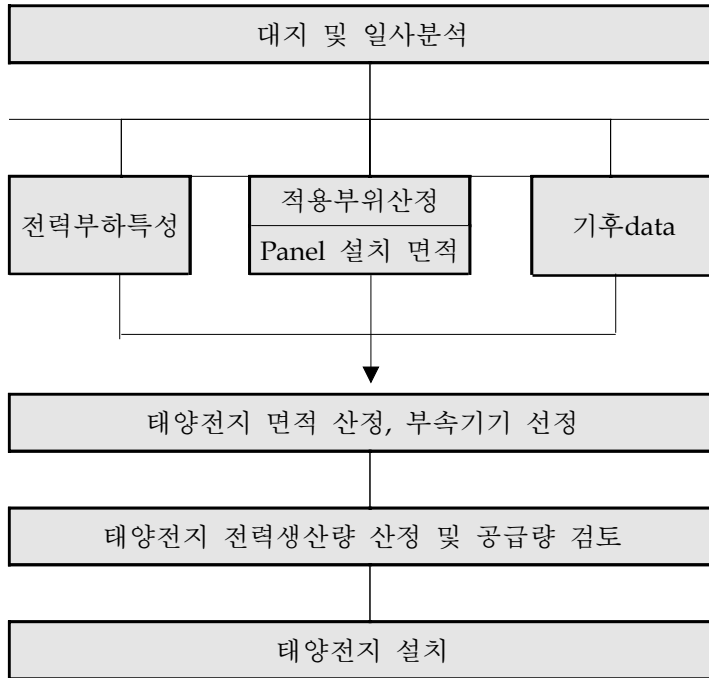
(그림 4.1) 프로그램 실행화면

#### 4.1.2 시뮬레이션을 이용한 설계방법론

PV-DesignPro를 이용해 태양전지를 공동주택에 적용하기 위한 방법은 다음과 같다.

태양전지가 적용될 공간의 대지 및 일사를 분석한다. 적용하기 적절한 공간을 선정후 그 공간에 적용될 수 있는 태양전지판을 설정한다. 그와 동시에 태양전지가 들어갈 공동주택의 전력부하를 산정한다. 초기 입력 자료로 기후특성에 관한 데이터를 수집한다. 태양전지판이 설치되는 면적과 최대출력치를 고려하여 인버터와 축전지의 용량을 구한다. 각각 산출된 PV 시스템으로 생산되는 전력량을 검토한 뒤, 전력부하중 태양광발전으로 공급할 수 있는 부분을 비교한다.

<표 4.2> 태양전지 설계방법론



### 4.1.3 기본조건

시뮬레이션을 위한 입력변수로서 기후data 및 전력부하특성을 나타내면 아래와 같다.

#### 1) 기후data

태양전지의 출력을 계산하기 위해 평균일사시간을 조사하면 <표 4.3>과 같다. <표 4.3>은 각 도시의 30년간 평균 일사시간이다.



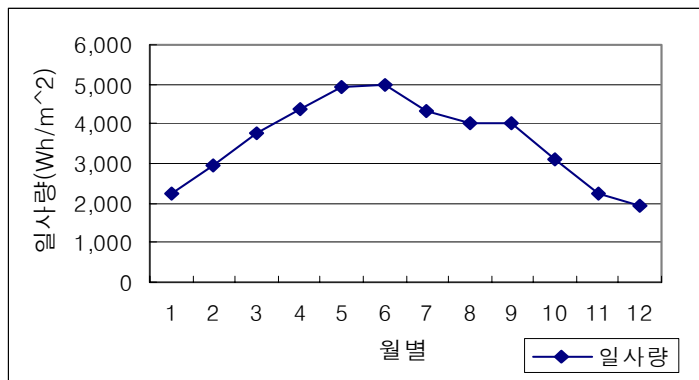
<표 4.3> 연간 일사시간(단위:H)

	서울	춘천	대전	대구	부산	제주	평균
1월	163.2	163.9	152.4	196.2	199.9	74.9	161.5
2월	165.1	173.2	149.3	179.8	176.5	99.2	158.7
3월	204	211.9	198.3	214.6	204.1	171	200.4
4월	205.3	219.4	217.1	213	196.2	189.6	207.2
5월	227.1	239.5	240.9	239.8	223.6	215.8	231.8
6월	190.2	208.7	202.4	197.3	182.8	185.7	191.7
7월	121.2	150.3	161.6	163.8	165.8	209.3	158.7
8월	149.6	170.7	189.8	189	211.4	224.2	186.4
9월	179.6	175.3	181.3	169.5	168	172.8	174.7
10월	204.3	182.7	200.1	206.4	201.6	179.1	196.8
11월	150.9	142.5	148.1	178	187.1	128	161.3
12월	147.3	150.3	145.1	189.9	201.3	85.9	166.8
총합	2108	2188	2186	2337	2318	1935	2196

서울지역은 연간 2108시간으로 전국평균인 2196시간보다 일사시간이 짧다. 대구나 부산지역은 일사시간이 많기 때문에 전력생산량이 더 많을 것으로 예상된다.

전력예측 프로그램인 PV-DesignPro의 기상 data로는 서울지역의 연간 일사를 기준으로 시뮬레이션 하였다.

(그림 4.2)는 서울지역 연간 일사량을 나타낸 그래프이다.



(그림 4.2) 서울지역 연간 일사량

## 2) 전력부하특성

PV-DesignPro 시뮬레이션을 하기 위해 공동주택과 상가, 주차장의 시간당 전력 부하를 산정하여 프로그램의 초기 입력값으로 설정하였다.

<표 4.4>는 단위세대의 전력요구량을 각실별로 분류하여 나타내었다.

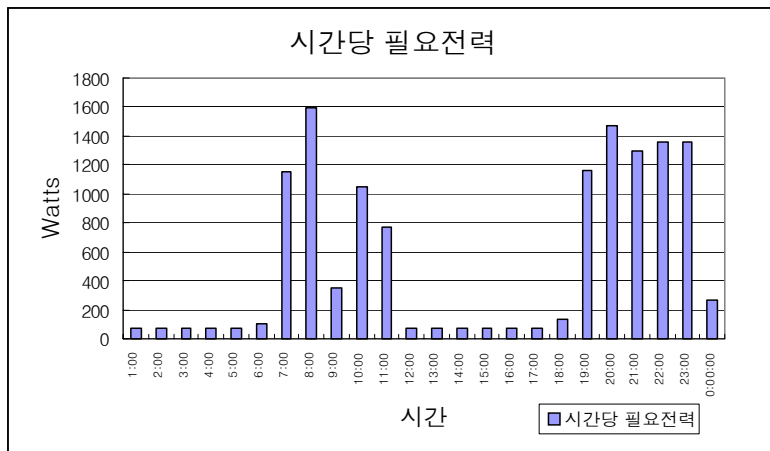
<표 4.4> 단위세대 필요전력

대상 공간	종류	전기기기	평균사용시간	전력 요구량
안방	기기	진공청소기1400W	1시간	1.4kWh
	조명	형광등 30W×2EA	4시간	0.24kWh
방1	기기	PC50W,모니터65W	5시간	0.58kWh
	조명	형광등 30W×2EA	6시간	0.36kWh
방2	기기	스탠드27W	6시간	0.16kWh
	조명	형광등 30W×2EA	6시간	0.36kWh
거실	기기	25'TV160W	5시간	0.8kWh
	조명	형광등 30W×4EA	5.5시간	0.66kWh
주방	기기	전자레인지620W	1시간	0.62kWh
	기기	냉장고76W	24시간	1.82kWh
	기기	전기밥솥650W	7시간	4.55kWh
	조명	형광등20W×2EA	4시간	0.4kWh
	조명	백열전구60W1EA		
다용도실	기기	세탁기540W	1시간	0.54kWh
	조명	백열전구60W	1시간	0.06kWh
욕실	조명	백열전구60W	2시간	0.12kWh
계단실	조명	형광등30W	7시간	0.21kWh
발코니	조명	백열전구30W	0.5시간	0.02kWh
조명부하합계				2.22kWh
전력부하합계				12.9kWh

단위세대에 공급할 수 있는 전력량 및 담당할 수 있는 전력비율을 산출하기 위해 단위세대별로 소비되는 전력량을 조사한다. 공동주택에 소비되는 전력량을 알기 위해 각세대별 전기기기와 조명기기를 조사하였다<sup>7)</sup>.

공동주택 단위세대의 시간별 전력부하를 살펴보면 다음 (그림 4.3)과 같다.

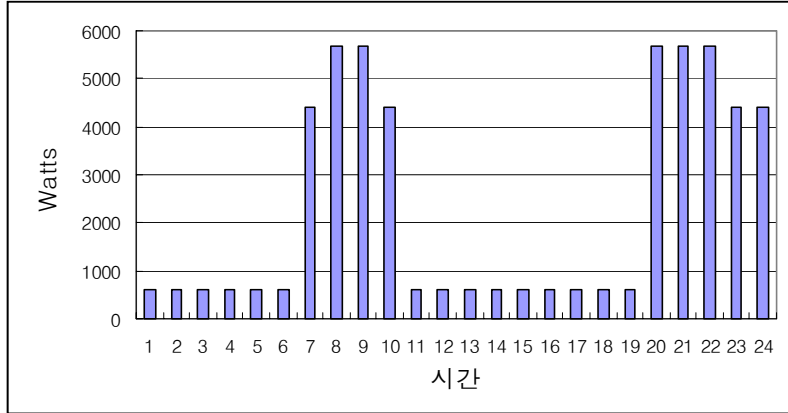
공동주택의 주사용시간인 오전 7시부터 11시까지와 오후 7시부터 11시까지의 전력부하가 전체의 90%이상으로 그 시간대에 집중되는 현상을 보였다. 오전 8시에 최대 전력피크인 1.6kWp의 부하가 걸린다.



(그림 4.3) 세대별 전력부하

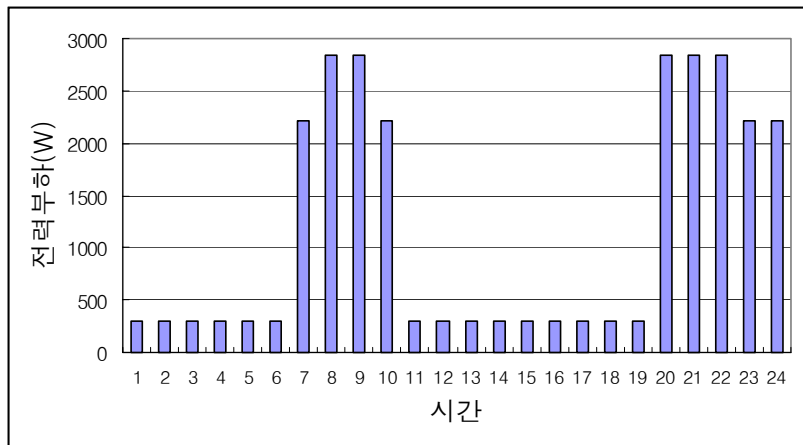
7) 드라이비트를 이용한 개보수 공사의 성과분석, 중앙대 건설산업연구소, 1999.

(그림 4.4)는 남향 공동주택의 공동부분에 요구되는 시간별 전력부하를 나타낸다.



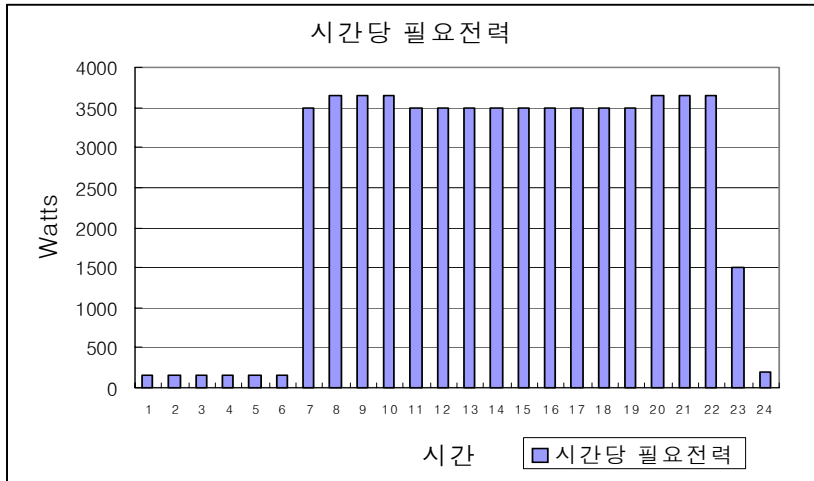
(그림 4.4) 남향 공동주택 공동전력부하

(그림 4.5)는 동향 공동주택의 공동부분에 요구되는 시간별 전력부하를 나타낸다.



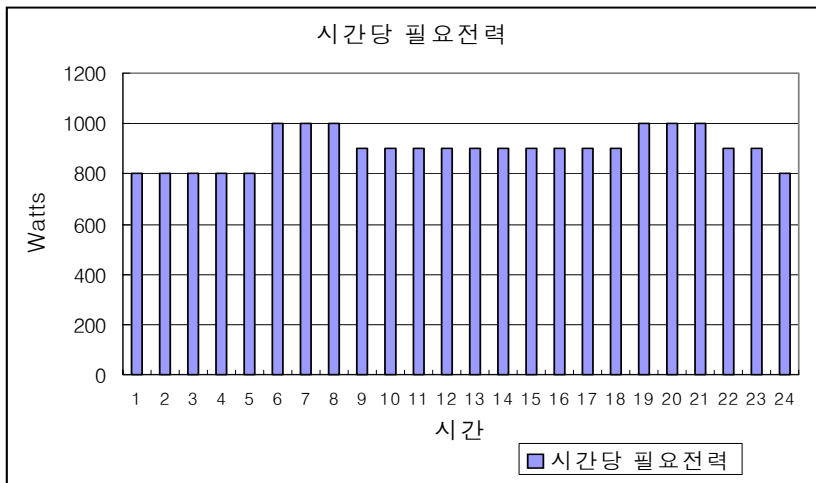
(그림 4.5) 동향 공동주택 공동전력부하

(그림 4.6)은 상가건물의 공동부분에 요구되는 시간당 전력부하를 나타낸다.



(그림 4.6) 상가건물 공동전력부하

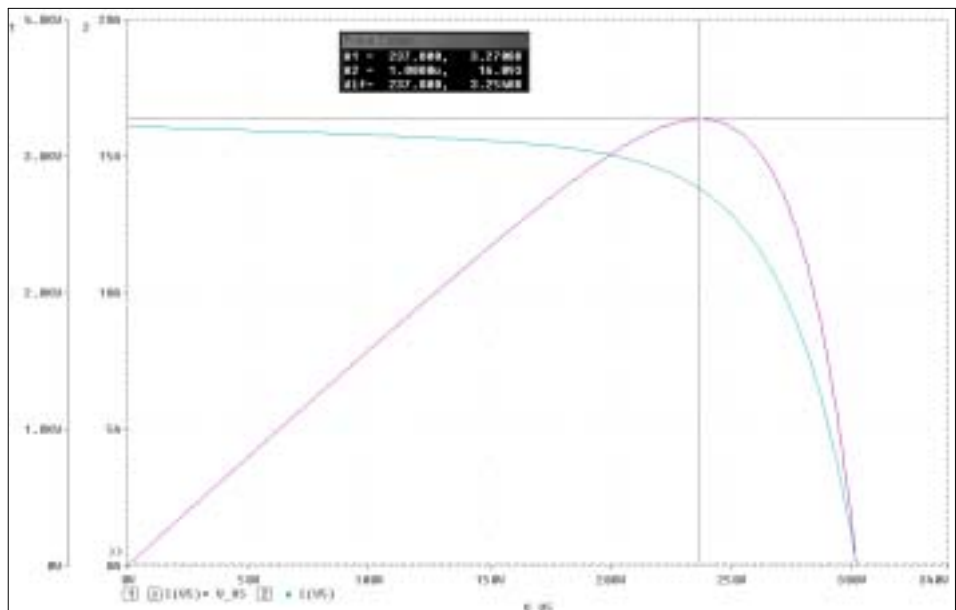
(그림 4.7)은 지하주차장에서 요구되는 시간별 전력부하를 나타낸 표이다.



(그림 4.7) 지하주차장 전력부하

### 3) 태양전지 출력특성

전기전자 회로 컴퓨터 프로그램인 PSpice를 이용해 옥상에 설치된 3kWp급의 태양전지 출력을 시뮬레이션하였다. (그림 4.8)은 태양전지 출력특성을 나타내는데 이를 기준으로 IV곡선 및 최대출력을 구한다.



(그림 4.8) 태양전지 출력 특성곡선

위의 I.V. 곡선에 의해 건물에 적용한 3kWp급 태양전지는 최대출력 3270W 이며, Max Power voltage 237V, Max Power current 16A이다.

#### 4) 적용 PV 시스템 개요

본 시뮬레이션을 위한 PV 시스템은 다음과 같이 선정하였다.

<표 4.5> 적용된 PV시스템 기기

종류	적용기기
태양전지	KyoceraKC60
축전지	Concorde PVX-12255(12V,255A)
인버터	Trace SW 5548(3.3kVA)

태양전지는 일본 Kyocera 사의 KC60 모델을 선정하였으며, 축전지는 Concord 사의 PVX-12255 모델로 12V와 255A의 특성을 가지며, 인버터는 Trace SW 5548 모델로 3.3kVA급 규모이다.

## 4.2 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 태양전지 전력량 예측

### 4.2.1 태양전지의 최적 경사각

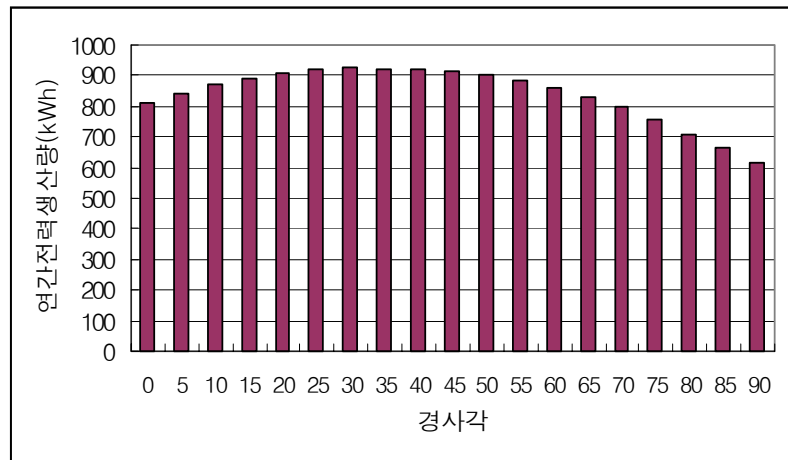
공동주택에 적용되는 태양전지의 최적 경사각을 알기위해 PV-DesignPro 로 시뮬레이션을 실시하였다.

최적 경사각 시뮬레이션은 경사각 0°에서 90°까지 범위로 5°씩 변화를 주어 연간 전력 생산량을 산출하였다.

<표 4.6>과 (그림 4.9)는 공동주택에 적용된 동일한 상황에서 각각의 태양전지 경사각을 입력하여 연간 전력 생산량을 알아보았다.

<표 4.6> 경사각별 전력생산량

경사각	전력생산량(kWh)	경사각	전력생산량(kWh)
0°	808	50°	900
5°	840	55°	883
10°	870	60°	860
15°	893	65°	831
20°	910	70°	796
25°	922	75°	756
30°	927	80°	710
35°	922	85°	665
40°	918	90°	617
45°	912		



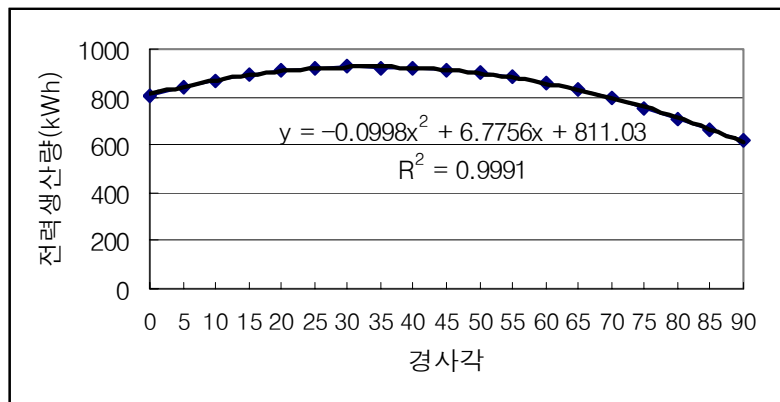
(그림 4.9) 경사각별 전력생산량

같은 환경에서 경사각만 변화시켜 얻은 연간전력 생산량중 30°일때가 가장 많은 927kWh로 연간 116kWh/m<sup>2</sup>의 전력생산량의 나타냈으며, 25°에서 35°범위의 경사일 때 모두 922kWh로 연간 115kWh/m<sup>2</sup> 전력을 생산하며, 이 전력생산량은 30° 일때와 비교하여 99% 이내 범위로 큰차이가 없는 것으로 나타났다



지표면과 45°의 경사를 이룰때는 30°로 설치하였을 때와 비교하여 98%의 전력 생산을 나타냈다. 60°의 경사를 이룰때는 30°와 비교하여 92%의 전력생산을 나타냈으며, 수직으로 설치한 경사각 90°일때는 30°로 설치하였을때와 비교하여 67%의 전력을 생산하는 것으로 나타났다.

공동주택 발코니 부분에 적용된 태양전지의 경사각별 생산되는 전력량을 산출하였으며, 이에따른 태양전지 경사각별 전력생산량에 대한 회귀식을 도출하였다.



(그림 4.10) 경사각별 전력생산

(그림 4.10)에 의해 경사각별 전력생산량에 대한 회귀방정식은 (식 4.1)과 같다.

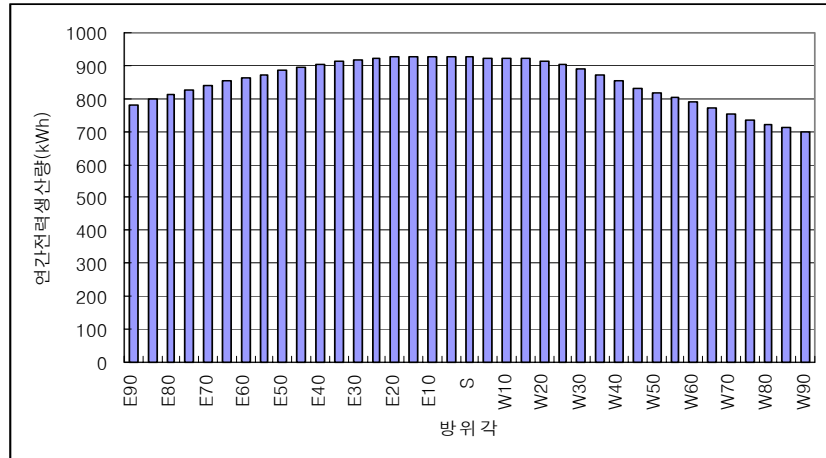
$$Y = -0.0998 X^2 + 6.7756 X + 811.03 \quad (R^2=0.99) \quad (\text{식 4.1})$$

#### 4.2.2 태양전지의 최적 방위각

공동주택에 적용되는 태양전지의 최적 방위각을 알기위해 PV-DesignPro 로 시뮬레이션을 실시하여 분석하였다.

최적 방위각 시뮬레이션은 E90°부터 W90°까지의 범위를 정하여 5°씩 변화를 주어 연간전력 생산량을 산출하였다.

옥상에 적용된 동일한 상황에서 각각의 태양전지 방위각을 입력하여 (그림 4.11) 과 같은 최적 방위각을 분석하였다.



(그림 4.11) 방위각별 전력생산량

방위각에 의한 전력생산량을 알기위해 적용된 동일한 상황에서 각각의 태양전지 방위각을 비교하면 (그림 4.11)과 같이 정남 방향이 태양전지 면적당 연간 116kWh/m<sup>2</sup> 으로 전력생산량이 가장 높은 것으로 나타났다. E10°부터 정남향까지는 거의 차이가 없는 것으로 나타났으며, 태양전지 설치시 가장 효율이 높은 것으로 나타났다. 방위각별 전력생산량은 정남향일때를 기준으로 동향으로 20°틀어졌을 경우에는 정남일때와 비교하여 99.5%의 전력을 생산하였으나 서향으로 20°틀어졌을 경우에는 98%의 전력을 생산하는 것으로 분석되었다.

#### (1) 동향 방위각별 전력생산

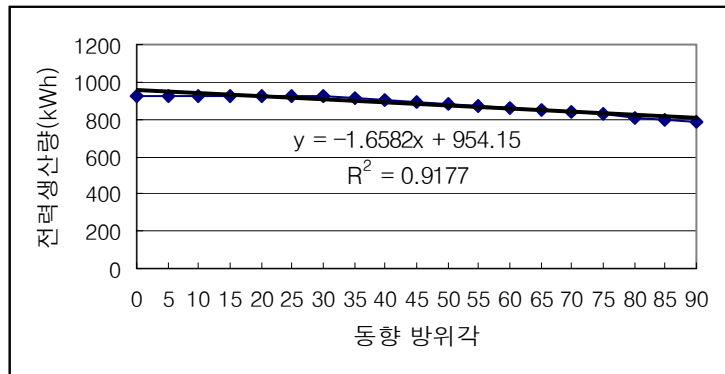
<표 4.7>은 정남방향에서 동향으로 5°씩 태양전지가 각각 틀어져서 적용되었을 때의 전력 생산량이다. 정남 방향에서 동향으로 45°틀어져 있을때는 정남과 비교하여 96%의 전력생산을 하는 것으로 나타났으며, 정동방향으로 적용되었을때는 정남과 비교하여 84%의 전력을 생산하는 것으로 나타났다.

<표 4.7> 방위각별 전력생산량(동향)

방위각	전력생산량(kWh)	방위각	전력생산량(kWh)
S	927	E50°	884
E5°	926	E55°	873
E10°	926	E60°	863
E15°	925	E65°	852
E20°	924	E70°	839
E25°	922	E75°	826
E30°	919	E80°	812
E35°	912	E85°	797
E40°	904	E	782
E45°	894		

공동주택 발코니 부분에 적용된 태양전지의 방위각별 생산되는 전력량을 산출하였으며, 이에따른 태양전지 동향 방위각별 전력생산량에 대한 회귀식을 도출하였다.

(그림 4.12)에서 0°는 정남향이며, 90°는 정동 방향에 설치 되었을때의 전력생산량을 나타낸다.



(그림 4.12) 방위각별 전력 생산량(동향)

(그림 4.12)에 의해 동향 방위각별 전력생산량에 대한 회귀식은 (식 4.2)와 같다.

$$Y = -1.6582 X + 954.15 \quad (R^2=0.92) \quad (\text{식 4.2})$$

(2) 서향 방위각별 전력 생산

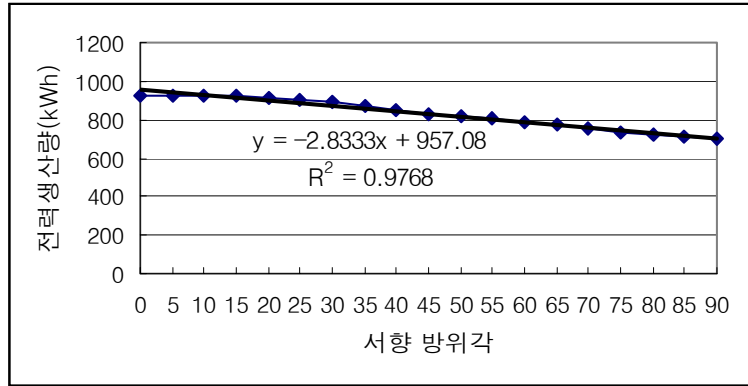
<표 4.8>은 정남방향에서 서향으로 5°씩 태양전지가 각각 틀어져서 적용되었을 때의 전력 생산량이다. 정남 방향에서 서향으로 45°틀어져 있을때는 정남과 비교하여 89%의 전력생산을 하는 것으로 나타났으며, 정서방향으로 적용되었을때는 정남과 비교하여 75%의 전력을 생산하는 것으로 나타났다.

(그림 4.13)에서 0°는 정남향이며, 90°는 정서 방향에 설치 되었을때의 전력생산량을 나타낸다.

<표 4.8> 방위각별 전력생산량(서향)

경사각	전력생산량(kWh)	경사각	전력생산량(kWh)
S	927	W50°	818
W5°	923	W55°	803
W10°	923	W60°	791
W15°	921	W65°	772
W20°	914	W70°	753
W25°	903	W75°	736
W30°	891	W80°	722
W35°	872	W85°	711
W40°	852	W	698
W45°	832		

공동주택 발코니 부분에 적용된 태양전지의 방위별 생산되는 전력량을 산출하였으며, 이에따른 태양전지의 서향 방위각별 전력생산량에 대한 회귀식을 도출하였다.



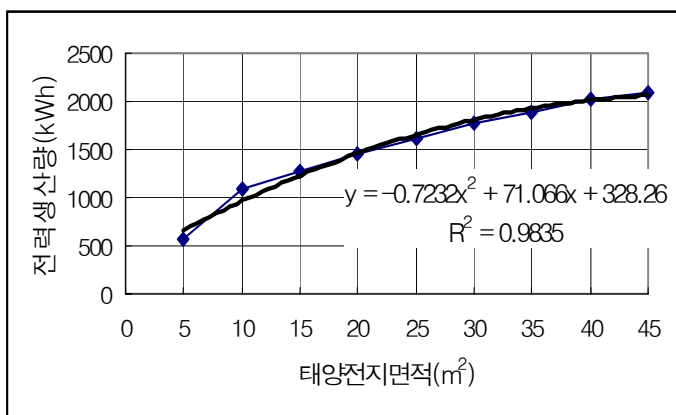
(그림 4.13) 방위각별 전력생산량(서향)

(그림 4.13)에 의해 서향 방위각별 전력생산량에 대한 회귀식은 (식 4.3)과 같다.

$$Y = -2.8333 X + 957.08 \quad (R^2=0.98) \quad (\text{식 4.3})$$

#### 4.2.3 태양전지 면적당 전력 생산량

공동주택 발코니 부분에 적용된 태양전지의 면적당 생산되는 전력량을 산출하였으며 이에따른 태양전지 면적당 전력생산량에 대한 회귀식을 도출하였다. 발코니 부분은 거실 및 침실의 일조 및 조망과 관련되어 적용면적에 제한을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 발코니 부분에 적용가능한 면적을 대상으로 시뮬레이션을 실시하였다. 거실 부분은 동선관계로 태양전지를 설치할 수 없으며, 침실 부분에 태양전지를 적용하였다. 따라서 발코니 부분중 거실 부분을 제외한 침실 부분에 태양전지를 적용하였다. 적용대상 부분의 높이가 약 1.5m로 한정하여 배치하는 것으로 가정하였다.



<표4.9> 면적당 전력량

면적(m <sup>2</sup> )	전력량(kWh)
5	561
10	1083
15	1284
20	1463
25	1623
30	1770
35	1894
40	2015
45	2098

(그림 4.14) 전지면적당 전력생산량

(그림 4.14)에 의해 면적당 전력생산량에 대한 회귀식은 (식 4.4)와 같다.

$$Y = -0.723 X^2 + 71.066 X + 328.26 \quad (R^2=0.98) \quad (\text{식4.4})$$

여기서, Y 는 전력생산량이며, X 는 태양전지 적용면적이다.

이 회귀식에 의해 공동주택의 각 Type별 전력생산량을 구할 수 있다.

#### 4.2.4 공동주택 Type별 전력생산량

대표적인 아파트의 단위세대 평면유형을 선정하기 위해, <표 4.10>과 같은 척도에 따라 분류하였다. 수집된 평면들을 주동형식에 따라 양분한 뒤, 공간구성에 따라 2R, 3R, 4R 타입으로 나누고 다시 실배치 형상에 따라 7가지로 선정하였다<sup>8)</sup>.

8) 나수연, 공동주택 자연통풍 계획에 관한 연구, 중앙대 대학원, 1999, pp.80~82.

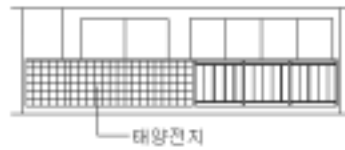
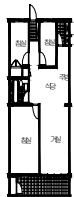
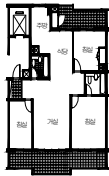
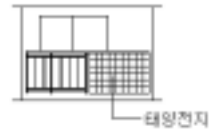
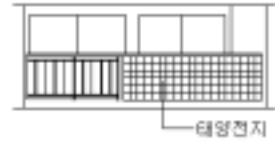
<표 4.10> 평면유형의 분류척도

분류척도	변수
주동형식	계단실형, 편복도형
공간구성	2R-DK, 2R-LDK 3R-DK, 3R-LDK 4R-DK, 4R-LDK

<표 4.11> 아파트 단위평면 유형의 선정

번호	평면유형	주동형식	공간구성	실배치 형상		
				전면	중앙	후면
1	2R 계단실형	계단실형	2R-LDK	R	B	R
2	2R 편복도형	편복도형	2R-DK	R	D B	K R
3	3R 계단실형	계단실형	3R-LDK	R L R	B	K D R
4	3R 편복도형	편복도형	3R-LDK	L R	D B	K R R
5	3R 계단실형	계단실형	3R-LDK	L R	B	R D K R
6	4R 편복도형	편복도형	4R-LDK	R L R	D B	R R K
7	4R 계단실형	계단실형	4R-LDK	R L R	B	R K D R

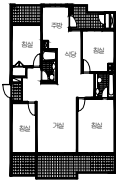
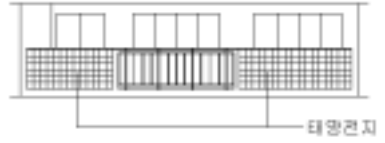
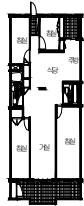
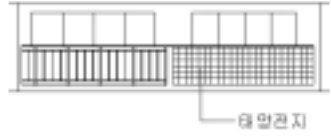
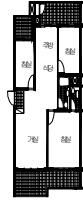
\* L : 거실, R : 방, D : 식당, K : 주방, B : 화장실





	평면	입면
1		
2		
3		
4		

(그림 4.15) 단위세대 평면, 입면 유형(1~4)



	평면	입면
5		
6		
7		

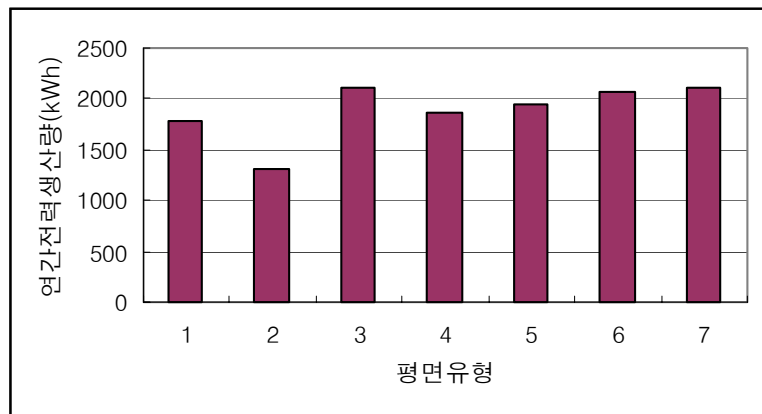
(그림 4.16) 단위세대 평면, 입면 유형(5~7)

태양전지의 높이 부분은 1.5m로 고정시킨 뒤, 각각 공동주택의 평면유형에 따른 발코니 부분의 적용할 수 있는 폭을 결정한 뒤 적용할 수 있는 면적을 산출하였다.

<표 4.12> 평면유형별 적용면적

번호	평면 유형	폭(m)	태양전지면적(m <sup>2</sup> )
1	2R-LDK 계단실형	4	6
2	2R-DK 편복도형	2	3
3	3R-LDK 계단실형	6.4	9.6
4	3R-LDK 편복도형	4.5	6.8
5	3R-LDK 계단실형	5	7.5
6	4R-LDK 편복도형	6	9
7	4R-LDK 계단실형	6.4	9.6

<표 4.12>에 산출된 적용면적을 (식 4.6)에 대입하여 각 평면유형별 전력생산량을 구한 값은 (그림 4.17)이다. 3R-LDK 계단실형과 4R-LDK 계단실형이 전력생산량이 높으므로 남측면에 방이 2개 접해있는 평면 유형이 전력생산량이 높음을 알 수 있다. 특히 같은 4R 유형이지만 방이 남측면에 장변으로 접해있는 4R-LDK 계단실형 유형이 전력생산량이 높았다.



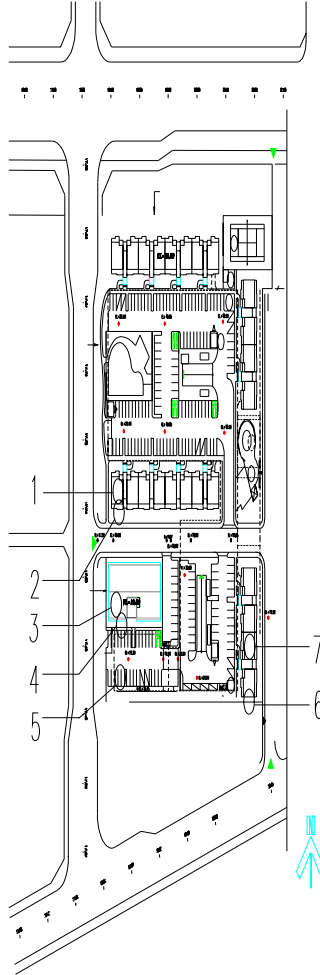
(그림 4.17) 평면유형별 연간전력생산량

공동주택 단위세대 유형별 태양전지 전력생산량은 3R방식에서 3R-LDK 계단실형 type과 4R방식에서 4R-LDK 계단실형 type이 가장 많은 2110kWh의 전력을 생산하였다.

따라서 이와같은 유형별 전력생산량은, PV 시스템 적용에 있어서 효율적인 평면 유형은 남향부분에 접한 면적이 많을수록 유리한 설계계획임을 나타낸다.

## 4.3 사례연구

### 4.3.1 부지분석



건축사사무소

태양전지를 적용한 대상 건물은 풍림 아파트 단지내의 남향 공동주택과 동향 공동주택, 상가건물과 주차장 부분이다. 태양전지의 적용에 있어서 일사를 많이 받을 수 있는 남향에 설치가능한 부위를 선정하고, 태양전지판이 적절히 적용될 수 있는 부위를 선정하여 적용하였다.

남향 공동주택은 옥상부위와 발코니 부위에 설치가 가능하고, 동향 공동주택은 남측 수직면과 옥상부위에 설치한다. 상가건물은 경사지붕과 차양부위에 설치가 가능하고, 주차장의 경우에는 남향 경사지붕에 설치가 가능하다.

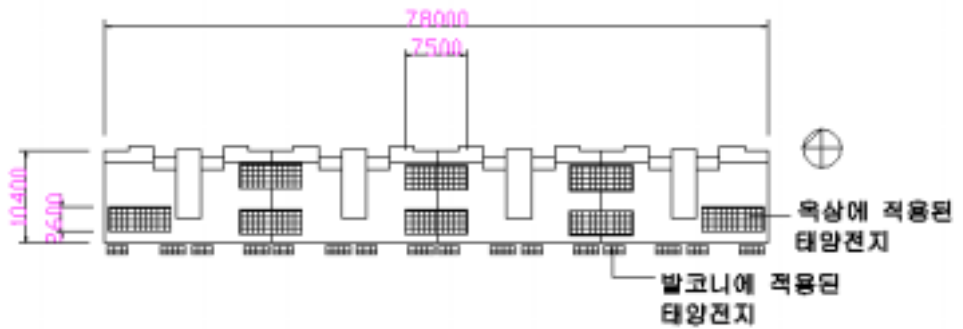
(그림 4.18)에서 1은 남향 공동주택의 옥상에 태양전지를 설치하였고, 2는 단위 세대의 발코니부위에 태양전지를 적용하였다. 3은 단지내 상가건물의 남향 경사지붕에 적용하였고, 4는 남향 유리창의 수평차양부위에 적용하고, 5는 주차장 지붕을 선정하여 지하주차장에 전력을 공급하도록 하였다. 6은 동향 공동주택의 남측 수직면에 태양전지판을 90°로 적용하였고, 7은 동향 공동주택 옥상에 설치하였다.

### 4.3.2 남향 공동주택

#### 1) 옥상에 적용된 태양전지

##### (1) 적용부위

남향 공동주택의 811m<sup>2</sup>면적을 갖는 옥상에 2.7kWp급 태양전지판을 8개 설치하였다. 2.7kWp급 기기당 태양전지 면적은 22.5m<sup>2</sup>이며, 옥상에 설치된 태양전지 총 면적은 180m<sup>2</sup>이다.

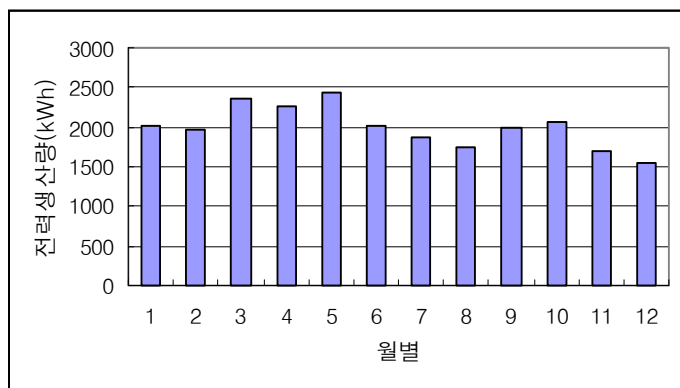


(그림 4.19) 남향 공동주택 옥상 평면도

시뮬레이션을 하기위해 적용된 태양전지는 Kyocera KC60 모델을 적용하였으며, 축전지는 12V, 255A의 용량으로 선택하였고, 인버터는 3.3kVA급으로 적용하였다.

(2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.20)은 옥상에 적용된 태양전지의 생산되는 2.7kWp급 태양전지판의 8기에서 생산되는 총전력량을 시뮬레이션을 통해 알아본 결과이다.



(그림 4.20) 옥상에 설치된 태양전지의 연간 전력생산량



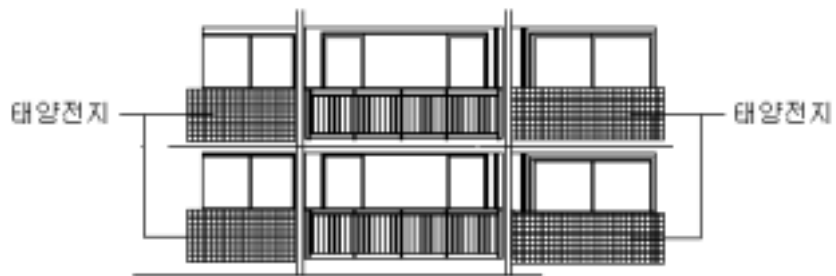
남향 공동주택 옥상에 적용된 PV 시스템으로 공급할 수 있는 연간 총전력 생산량은 24,000kWh이다. 이 전력량은 태양전지면적당 연간 133kWh/m<sup>2</sup>의 생산량이며, (그림 4.4)에서 나타나는 남향 공동주택 공동부분에서 요구되는 전력부하인 연간 20,230kWh를 100% 공급할 수 있다.

## 2) 발코니에 부착된 태양전지

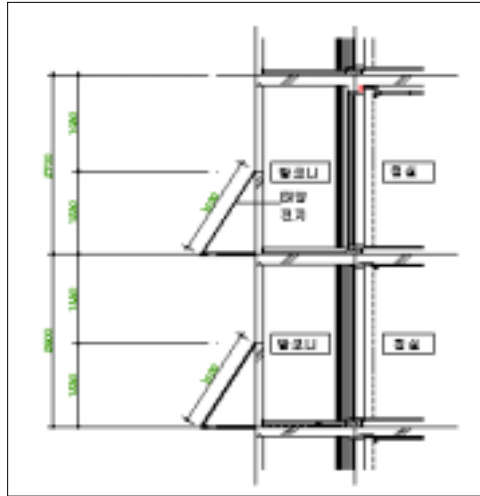
### (1) 적용부위

공동주택의 남측 발코니에 태양전지를 적용하였다. 거실쪽 발코니 부분은 통풍 및 조망을 고려하여 태양전지판을 설치하지 않았다.

(그림 4.21)은 태양전지가 설치된 단위세대의 정면도이며, 세대당 태양전지 면적은 8m<sup>2</sup>이다. (그림 4.22)는 태양전지가 적용된 발코니 단면도이다.



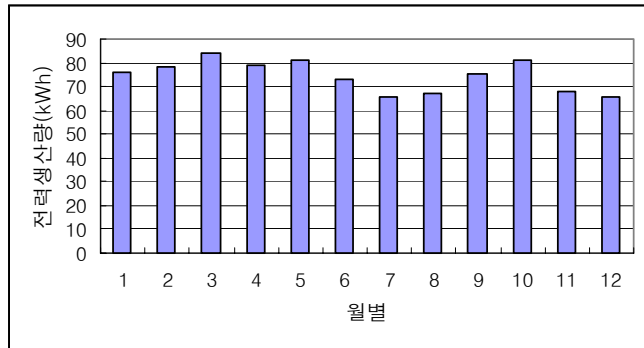
(그림 4.21) 남측 발코니에 부착된 태양전지 정면도



(그림 4.22) 남측면 태양전지 단면도

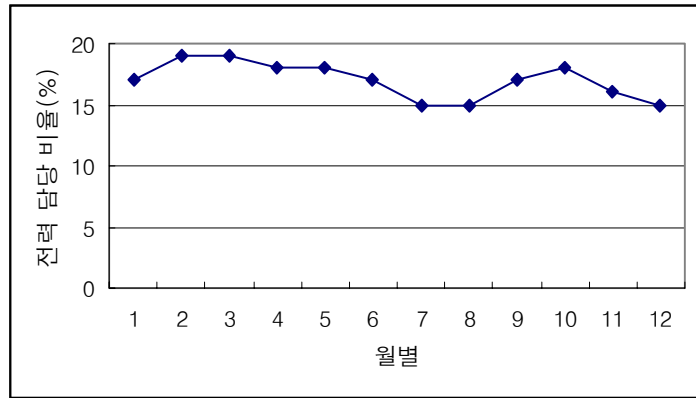
(2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.23)은 발코니에 적용된 태양전지 면적  $8\text{m}^2$ 일 때 전지면적당 전력생산량은 연간  $112\text{kWh}/\text{m}^2$ 이며 연간  $894\text{kWh}$ 의 전력이 생산되는데, 3월에 가장 많은 전력량인  $84\text{kWh}$ 가 생산된다.



(그림 4.23) 연간 전력 생산량

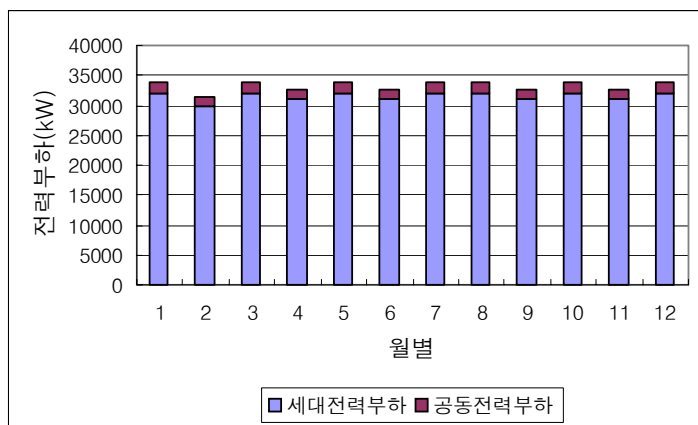
(그림 4.24)는 발코니에 부착된 태양전지에 의해 단위세대 총전력부하의 18%를 담당하는 것을 나타낸다. 이 전력량은 세대별 조명부하를 담당할 수 있다.



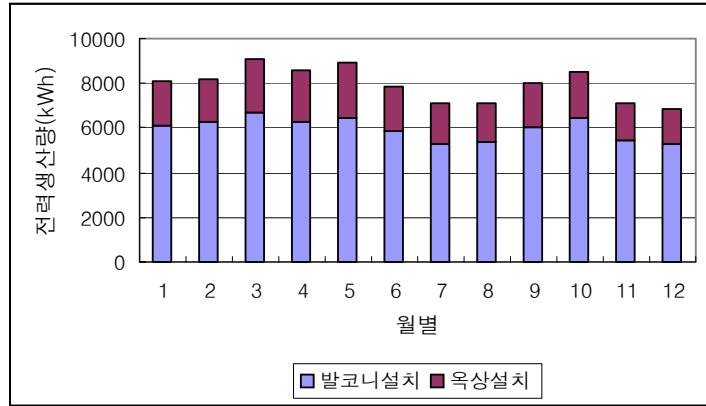
(그림 4.24) 태양광발전의 전력부하 담당 비율(%)

### 3) 남향 공동주택내의 총 전력 생산량

대상건물은 1층에 8세대로 10층으로 되어있는 공동주택으로, 설치한 태양전지는 옥상에 2.7kWp급의 태양전지판 8기 설치와 80세대의 남향발코니 부분에 0.95kWp급의 태양전지를 설치하였다. (그림 4.25)는 남향 공동주택내의 80세대와 공동전력 부분에 요구되는 전력부하이고, (그림 4.26)은 옥상에 설치한 태양전지와 발코니 부분에 적용된 태양전지로부터 연간 생산되는 총전력량이다.



(그림 4.25) 남향 공동주택 총 전력부하



(그림 4.26) 남향 공동주택내의 총 전력 생산량

남향 공동주택의 총전력부하는 세대 전력부하와 공동부분 전력부하의 합으로 나타난다. 세대별 전력부하는 월별 30,000kWh ~ 32,000kWh로 평균 31,500kWh이며, 공동전력부하는 월별 1,600kWh ~ 1,710kWh로 평균 1,700kWh이다. 총 전력부하는 월별 31,600kWh ~ 33,710kWh로 33,200kWh의 평균 부하를 갖는다.

총전력 생산은 남향공동주택일 경우 발코니 부분과 옥상에 설치한 태양전지로 전력을 생산할 수 있다. 발코니 부분에 설치한 태양전지의 전력생산량은 월별 5,280kWh ~ 6,720kWh로 평균 5,960kWh이며, 태양전지 단위면적당 연간 112kWh/m<sup>2</sup>의 전력이 생산된다. 옥상에 설치한 태양전지의 전력생산량은 월별 1,540kWh ~ 2,420kWh로 평균 2,000kWh이며 태양전지 단위면적당 연간 133kWh/m<sup>2</sup>의 전력이 생산된다. 남향 공동주택내에 설치된 태양전지에서 생산되는 총 전력량은 월별 7,110kWh ~ 9,090kWh로 7,960kWh의 월평균 전력을 생산한다.

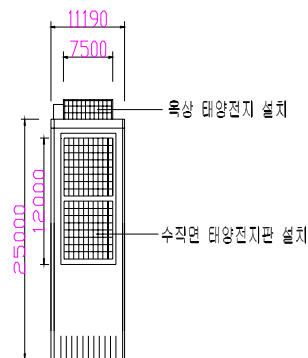
이와 같은 전력 생산량은 발코니와 옥상에 적용된 태양전지에서 공동주택의 총전력부하중 24%를 담당할 수 있는 전력이다.

### 4.3.3 동향 공동주택

#### 1) 수직벽에 적용된 태양전지

##### (1) 적용부위

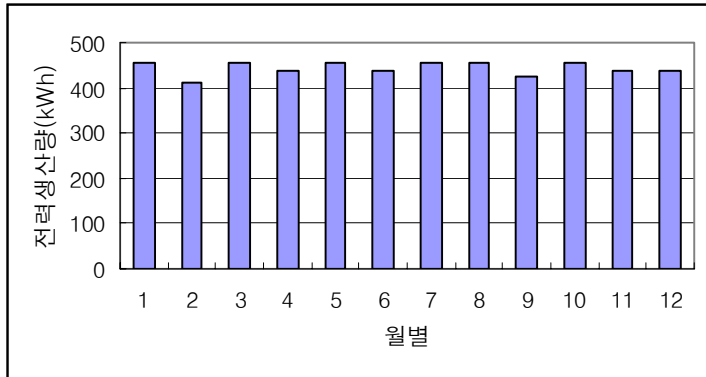
동향 공동주택의 남측수직벽면에 태양전지를 적용하여 생산되는 전력량과 공동전력부하의 담당 비율을 시뮬레이션 한다. 수직면에 적용한 태양전지 면적은 90m<sup>2</sup>이다.



(그림 4.28) 남측 수직벽에 적용된 태양전지

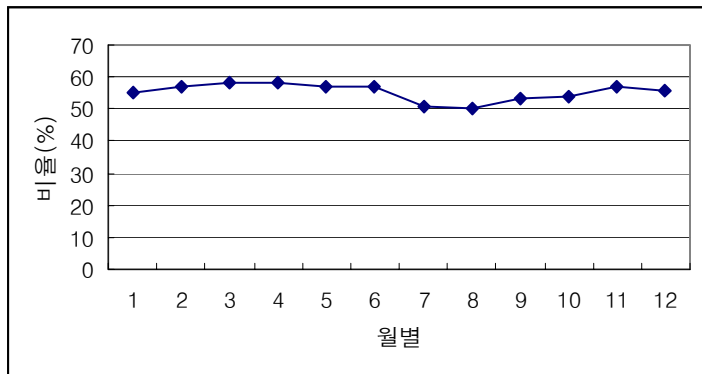
##### (2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.28)은 동향 공동주택의 남측수직벽에 적용된 태양전지로부터 생산되는 전력량은 연간 5,320kWh로, 이는 전지면적당 연간 60kWh/m<sup>2</sup>의 전력생산량이다.



(그림 4.28) 월별 전력생산량(kWh)

(그림 4.29)는 남측 수직벽면에 부착된 태양전지에 의해 생산되는 전력량은 (그림 4.5)에 나타나는 동향 공동주택의 공동부분에서 요구되는 전력부하인 연간 9,800kWh의 55%를 담당하는 전력량이다.

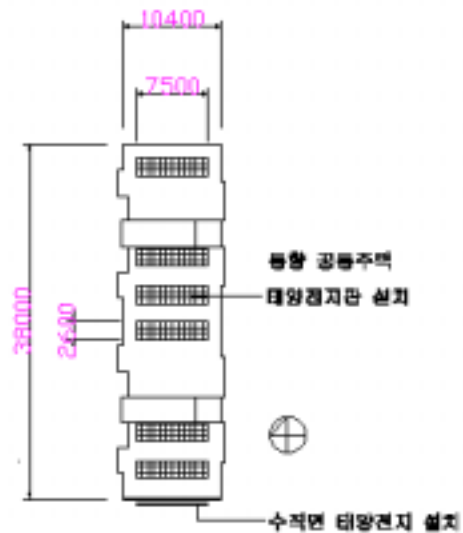


(그림 4.29) 전력부하 담당 비율(%)

## 2) 옥상에 적용된 태양전지

### (1) 적용부위

공동주택이 동서로 배치되어 있을 경우에는 발코니 부위에 태양전지를 설치할 수 없다. 동향 공동주택일 경우 옥상에 태양전지를 설치할 수 있다. 적용된 태양전지는 2.7kWp급 규모로 총 6개를 설치하였고, 설치된 태양전지 총면적은 135m<sup>2</sup>이다.

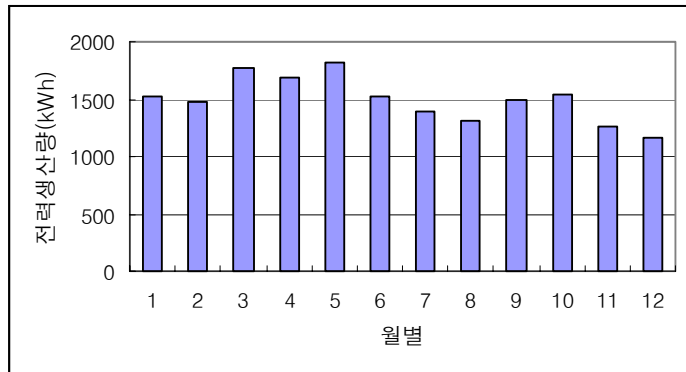


(그림 4.30) 동향 공동주택 옥상평면도

### (2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.31)은 옥상에 적용된 태양전지의 생산되는 총전력량을 시뮬레이션을 통해 알아본 결과이다. 동향 공동주택 옥상에 적용된 PV 시스템으로 공급할 수 있는

연간 총전력 생산량은 18,000kWh이며, 전지면적당 연간 133kWh/m<sup>2</sup>의 전력을 생산한다.



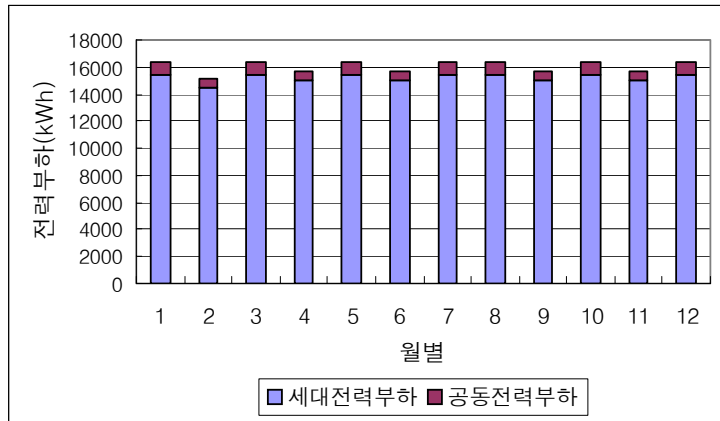
(그림 4.31) 연간 전력생산량

동향 공동주택 옥상에 적용된 PV 시스템으로 공급할 수 있는 연간 총전력 생산량은 18,000kWh이다. 이 전력생산량은 (그림 4.5)에서 보여지는 동향 공동주택 공동부분에서 요구되는 전력부하인 연간 9,800kWh를 100% 공급하며, 단위세대의 전력부하에 공급할 수 있다.

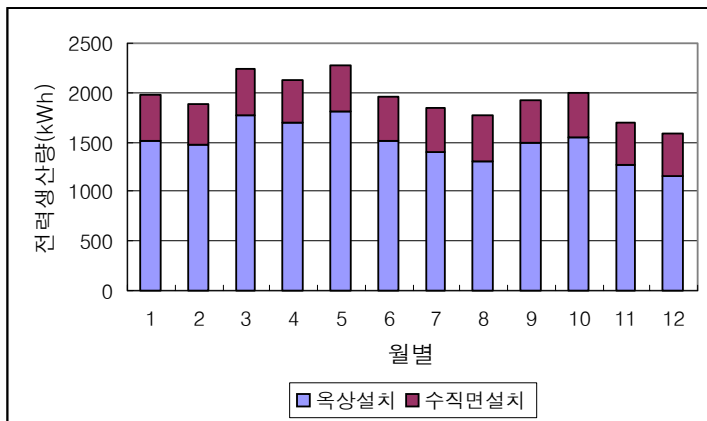
### 3) 동향 공동주택내의 총 전력 생산량

대상건물은 1층에 4세대로 10층으로 되어있는 공동주택으로, 설치한 태양전지는 옥상에 2.7kWp급의 태양전지판 6기 설치와 남측 수직벽 부분에 0.95kWp급 규모의 태양전지를 설치할 수 있다. (그림 4.32)는 동향 공동주택내의 40세대와 공동전력 부분에 요구되는 전력부하이므로, (그림 4.33)은 옥상에 설치한 태양전지와 남측 수직벽 부분에 적용된 태양전지로부터 연간 생산되는 총전력량이다.





(그림 4.32) 동향 공동주택 총 전력부하



(그림 4.33) 동향 공동주택내의 총 전력 생산량

동향 공동주택의 총전력부하는 세대 전력부하와 공동부분 전력부하의 합으로 나타난다. 세대별 전력부하는 월별 14,450kWh ~ 15,500kWh로 평균 15,200kWh이며, 공동부분 전력부하는 월별 770kWh ~ 830kWh로 평균 810kWh이다. 총 전력부하는 월별 15,220kWh ~ 16,330kWh로 16,010kWh의 평균 부하를 갖는다.

총전력 생산은 동향 공동주택일 경우 옥상에 설치한 태양전지와 남측 수직면에 설치한 태양전지로 전력을 생산할 수 있다. 옥상에 설치한 태양전지의 전력생산량은 월별 1,160kWh ~ 1,820kWh로 평균 1,500kWh이며, 태양전지 단위면적당 연간 133kWh/m<sup>2</sup>의 전력이 생산된다. 남측 수직면에 설치한 태양전지의 전력생산량은 월별 410kWh ~ 460kWh로 평균 440kWh이며 태양전지 단위면적당 연간 60kWh/m<sup>2</sup>의 전력이 생산된다. 동향 공동주택내에 설치된 태양전지에서 생산되는 총 전력량은 월별 1,570kWh ~ 2,280kWh로 1,940kWh의 월평균 전력을 생산한다.

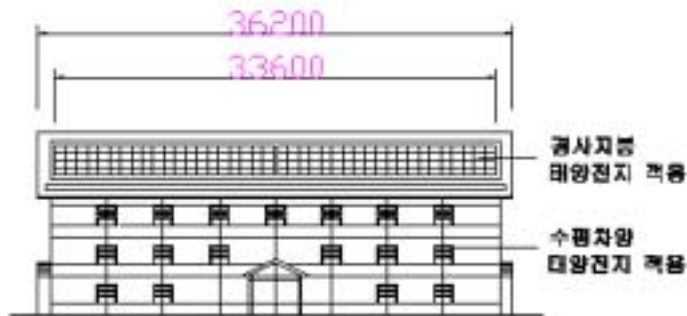
이와 같은 전력 생산량은 옥상과 남측 수직면에 적용된 태양전지에서 동향 공동주택의 총전력부하중 12%를 담당할 수 있는 전력이다.

#### 4.3.4 공동부분(상가)

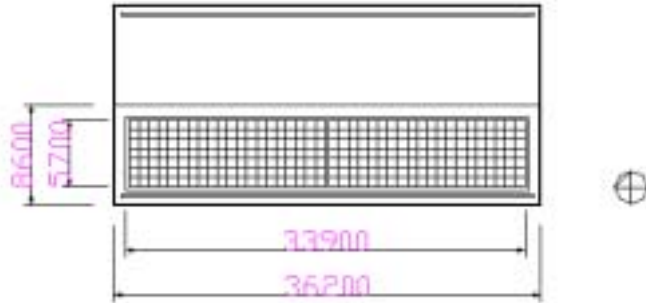
##### 1) 경사지붕 적용

###### (1) 적용부위

(그림 4.34)와 (그림 4.35)는 단지내에 있는 상가의 경사지붕에 태양전지를 적용한 사례이다. 경사진 지붕에 적용된 태양전지판 면적은 175m<sup>2</sup>이다.



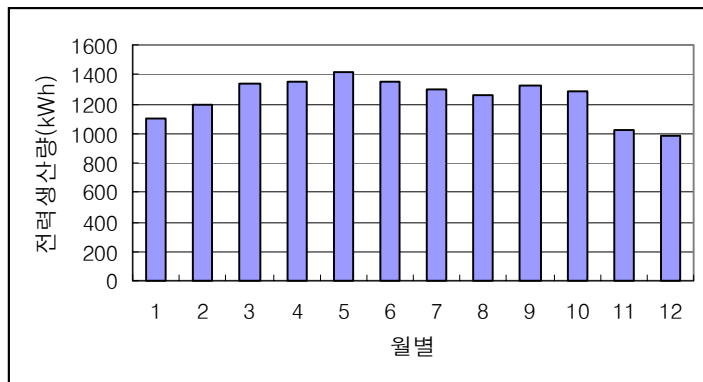
(그림 4.34) 단지내 상가 입면도



(그림 4.35) 옥상 평면도

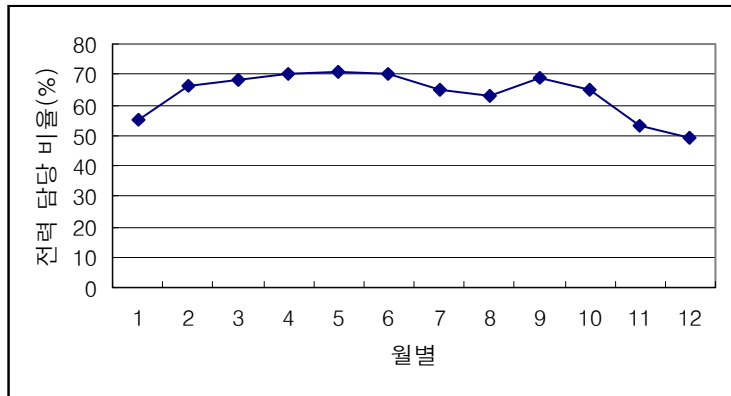
## (2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.36)은 상가건물의 경사지붕에 적용된 태양전지의 전력 생산량으로, 연간 15,000kWh의 전력을 공급한다.



(그림 4.36) 월별 전력생산량

이 전력생산량은 (그림 4.6)에서 보여지는 상가건물의 공동부분에서 요구되는 전력부하인 연간 22,000kWh중 63%를 공급할 수 있는 전력이다.

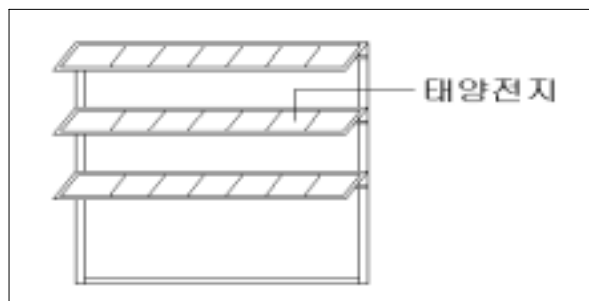


(그림 4.37) 태양광발전의 전력부하 담당 비율(%)

## 2) 수평차양부위에 적용

### (1) 적용부위

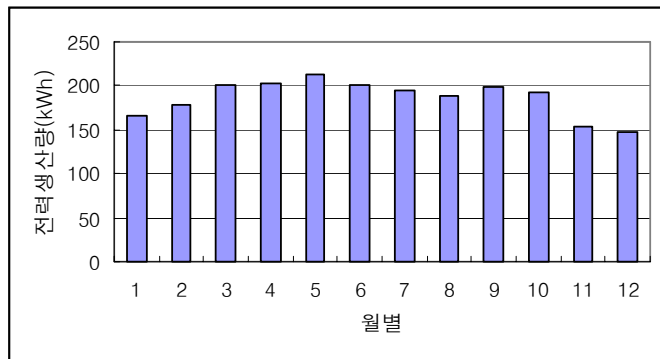
유리창위의 수평차양부위에 부착한 태양전지이다. 차양의 역할도 하면서 전력도 생산하도록 설계되었다. 상가건물의 남측면 창 17곳에 설치되었다.



(그림 4.38) 수평차양 부위에 적용된 태양전지

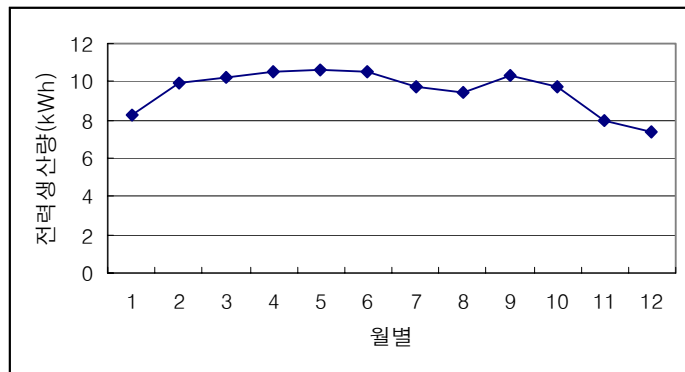
## (2) 컴퓨터 시뮬레이션

(그림 4.39)는 수평차양 부위에 적용된 태양전지의 생산되는 총전력량을 시뮬레이션을 통해 알아본 결과이다. 수평차양 부위에 적용된 PV 시스템으로 공급할 수 있는 연간 전력 생산량은 1,800kWh이다.



(그림 4.39) 월별 전력생산량

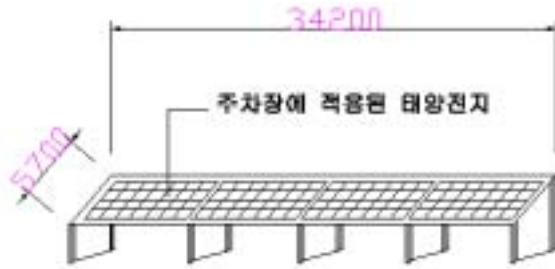
1,800kWh의 전력생산량은 (그림 4.6)에서 나타나는 상가건물의 공동부분에서 요구되는 전력부하인 연간 22,000kWh중 9%를 공급할 수 있는 전력이다.



(그림 4.40) 태양광발전의 전력부하 담당 비율(%)

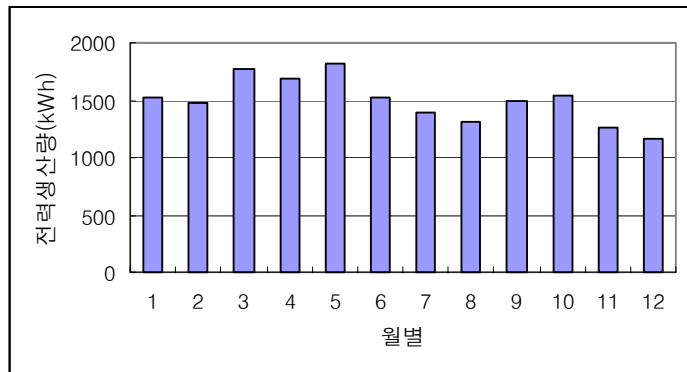
#### 4.2.5 공동부분(주차장)

주차장 남향 지붕에 부착하여, 지하주차장의 조명 전력부하로 사용된다. 주차장 지붕에 적용된 태양전지 면적은 185m<sup>2</sup>이다.



(그림 4.41) 주차장 지붕에 적용된 태양전지

(그림 4.42)는 주차장 지붕에 적용된 태양전지에서 생산되는 전력량을 시뮬레이션을 통해 알아본 결과이다. 주차장에 적용된 PV 시스템으로 공급할 수 있는 연간 전력 생산량은 18,000kWh이다.



(그림 4.42) 연간 전력생산량

주차장의 지붕에 적용한 태양전지에서 생산된 전력으로, (그림 4.7)에서 나타나는 지하주차장의 조명 전력부하인 17,800kWh를 100% 담당할 수 있도록 설계되었다.

## 제 5 장 경제성 분석

### 5.1 경제성 분석을 위한 기초사항

#### 5.1.1 재화의 시간적 가치

재화의 시간적 흐름에 따라 변하는 가치정도를 실질 할인율로 나타낸다. 실질 할인율은 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로, 또는 현재의 금액을 미래의 가치로 등가환산한 금액이다. 실질할인율은 (식 5.1)로 나타낼 수 있다.

$$\text{실질할인율}(i) = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \quad (\text{식 5.1})$$

여기서,  $i'$  : 이자율

$j$  : 물가상승율

#### 5.1.2 경제성 분석 기법

##### 1) 순현재가법(Net Present Value method, NPV)

각 대안에 대한 미래의 수입과 지출을 이와 등가인 현가로 계산하는 방법이다. 미래의 현금흐름은 현재가치로 환산하면 이율이 0이 아닌 이상 항상 화폐단위가 줄어든다. 따라서 미래의 수입과 지출과의 등가인 총 현가가 미래가보다 항상 할인되었다고 해서 이 방법을 할인현금흐름(Discount cash flow)법이라고 한다. 이것은 현가액법 또는 순현재가액법이라고도 하는데 각 대안에 대한 미래의 수입과 지출을 이와 등가인 현가로 계산함으로써 각 대안의 상대적인 우열을 쉽게 구별할 수 있는 방법이다.

현재가액(present-worth amount)은 선정된 이율  $i$  에 대하여 투자에 대한 수입과 지출을 현재의 가치로 계산한 순현재가(net present value)를 말한다.

$$PW_j(i) = \sum_{t=0}^n F_{jt} (1+i)^{-t} \quad (\because -1 < i < \infty) \quad (\text{식 5.2})$$

여기서,  $PW_j(i)$  = 현재가액 또는 순현재가

$F_{jt}$  = 대안  $j$  의  $t$  연도 말에서의 현금흐름

$i$  = 이율

이때의 의사결정기준은 상호 배타적인 투자안의 경우는 순현재가가 가장 큰 투자안을 선택하고 독립적인 투자안의 경우는 순현재가가 0보다 크면 투자가치가 있는 것으로 판정 한다.

## 2) 내부수익율법(Internal Rate of Return method, IRR)

내부수익율이란 단일 투자안에 대하여 표현한다면 일련의 수입과 지출을 현재로 바꾸어 0 이 되게 하는 이율을 말하며, 빌린 자금을 대하여 아직 갚지 않은 미지불액에 대한 이율이라 할 수 있다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$0 = PW(i_j^*) = \sum_{t=0}^n F_{jt} (1+i_j^*)^{-t} \quad (\text{식 5.3})$$

여기서,  $F_{jt}$  = 대안  $j$  의  $t$  연도 말에서의 현금흐름

$i_j^*$  = 대안  $j$  에 대한 수익률 또는 IRR

위의 식을 순현재가의 계산식과 비교해보면, 순현재가의 계산식에서 구하고자 했던 값인 NPV를 0으로 놓고 반대로 계산에 앞서 주어졌던 값인 이율  $i$  를 IRR으로 이를 붙여서 구하는 것임을 알 수 있다. 이처럼 순현재가법과 내부수익률법은 본질적



으로 현금흐름을 할인한다는 동일한 맥락에 놓여 있어서 할인현금수지법이라고 부른다.

의사결정기준으로서 상호배타적인 투자안의 의사결정방법으로 사용할 때는 내부수익률이 가장 큰 투자안을 선택하면 된다. 그러나, 독립적인 투자안의 경우에는 투자안의 내부수익률이 무위험이자율 보다 큰 모든 투자안을 투자가치가 있는 것으로 평가한다.

### 3) 편익/비용 비율 분석법(Benefit/Cost Ratio, BCR)

순현재가치는 절대치로 나타내기 때문에 투자규모가 다른 여러 투자안이 있을 때 각 투자안의 경제성비교가 어렵게 된다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 B/C 비율이 자주 사용된다. B/C 비율을 사용하면 투자액의 단위당 순현재가를 계산할 수 있어서 서로 규모가 다른 투자안을 쉽게 비교할 수 있다.

$$BCR = (B/C)_j(i) = \frac{\sum_{t=1}^n B_{jt} (1+i)^{-t}}{\sum_{t=0}^n C_{jt} (1+i)^{-t}} \quad (\text{식 5.4})$$

여기서,  $B_{jt}$  = t 연도에서 j 사업과 관련된 혜택,  $t = 1, 2, \dots, n$

$C_{jt}$  = t 연도에서 j 사업과 관련된 비용,  $t = 1, 2, \dots, n$

$i$  = 이율

편익과 비용은 화폐단위로 나타난 현재 가치 등으로 표시할 수 있으므로 B/C 비율은 혜택과 이를 위하여 지불되는 비용을 등가로 환산한 비율이다. B/C 비율의 의사결정기준은 상호배타적인 투자안의 경우는 B/C 비율가 가장 큰 것을 선택하고, 단일 투자안이나 독립적인 투자안을 평가할 경우는 B/C 비율가 1보다 클 때 그 투자안은 자본가치가 있다고 평가한다.

## 5.2 태양전지의 경제성 분석

태양전지의 경제성을 분석하기 위해 여러 경제성 평가 방법중 순현재가법(NPV), 내부수익률법(IRR), 편익/비용 비율 분석법(B/C R)의 기법을 이용하며, 분석시의 중요한 항목으로는 실질할인율과 에너지비등의 지표와 초기투자비, 유지비, 에너지 절감량등이 있다.

<표 5.1>은 경제성 분석에 적용한 실질 할인율이며, 최근 5년간의 할인율과 앞으로의 4년간 예상치를 기준으로 하였다. 물가상승율은 소비자물가 및 생산자물가의 평균값을 구하여 적용하였으며, 연평균이자율은 과거 5년간 및 추후 4년간의 시중 은행 예금금리 예상치를 기준하여 적용하였다. <표 5.2>의 에너지비는 1990년부터 현재까지의 유가 상승율을 기준하였다.

대상건물의 옥상에 설치하는 경우 미국, 일본등의 태양광발전 시스템 설치비용을 적용하여 경제성 분석을 할 수 있다. 태양광발전 시스템 3kWp급의 초기투자비는 1기당 1800만원 정도이며 1기당 연간 약 3600kWh의 전력이 생산된다<sup>9)</sup>.

이를 기준으로 공동주택 옥상에 태양광발전 시스템 3kWp급 8기를 설치할때 태양전지 시스템 설비의 초기투자비용은 1억 4400만원이다. 유지비용으로는 축전지의 설비수명인 7년마다 교체비용인 440만원이 추가로 투입된다.

대상건물의 20세대를 기준으로 에너지 절감량에 대하여, 한국전력의 주택용 전력요금과 비교하면, 태양광 시스템의 경제성 분석을 할 수 있다. 단위세대당 소모되는 전력은 1달에 400kWh이며, 이중 태양광발전으로 공급할 수 있는 세대당 30%에 대하여 한전 전력요금으로 계산하였다.

---

9) Sunwise technology, <http://www.sunwise.com/products/>

<표 5.1> 실질 할인율

	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	평균
소비자물가	4.5	5.0	4.5	7.5	2.2	2.7	3.0	3.3	3.0	
생산자물가	4.7	2.7	3.9	12.2	-0.9	2.2	2.6	3.1	2.8	
평균	4.6	3.9	4.2	9.9	0.7	2.5	2.8	3.2	2.9	
회사채유통 수익율(a)	13.8	11.9	13.4	15.1	8.1	9.0	9.0	10.0	9.0	
은행대출 금리(b)	10.8	11.1	11.9	13.1	6.1	7.5	7.5	9.0	8.0	
(a-b) 예측	3.0	0.8	2.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0	1.0	
실질할인율	5.9%	7.0%	7.4%	3.0%	5.4%	4.9%	4.6%	5.6%	5.0%	
실질할인율 평균(1995~2003)										5.474%

※ 한국은행 경제통계정보 주요경제지표

<표 5.2> 유가 상승율

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
등유	191	227	236	254	252	262	315	374	500	500
도시가스		285	285	290	296	297	302	331	432	432

<표 5.3> 태양전지의 경제성분석

(단위:천원)

구분		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
투입	초기투자비	144,000							
	유지비								4,400
	투입계	144,000							4,400
회수	에너지절약	5,280	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667
	회수계	5,280	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667
	현금과부족	-138,720	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667
	금융비용	-7,593	304	321	339	357	377	397	178
	당기수지계	-146,313	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667	3,446
	누적수지계	-146,313	-140,439	-134,244	-127,709	-120,817	-113,547	-105,880	-102,434
	실질할인율	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%
	NPV								-99,351

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
						4,400				
						4,400				
8,087	8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	11,743	12,386	13,064	13,780
8,087	8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	11,743	12,386	13,064	13,780
8,087	8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	6,734	11,743	12,386	13,064	13,780
442	466	492	519	547	577	368	642	678	715	754
8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	7,103	12,386	13,064	13,780	14,534
-93,904	-84,907	-75,418	-65,409	-54,852	-43,718	-36,615	-24,228	-11,163	2,616	17,150
5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%
										-46,263

2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	
				4,400						
				4,400						
14,534	15,330	16,169	17,054	17,987	18,972	20,011	21,106	22,261	23,480	
14,534	15,330	16,169	17,054	17,987	18,972	20,011	21,106	22,261	23,480	
14,534	15,330	16,169	17,054	13,587	18,972	20,011	21,106	22,261	23,480	
795	839	885	933	743	1,038	1,095	1,155	1,218	1,355	
15,330	16,169	17,054	17,987	14,331	20,011	21,106	22,261	23,480	26,121	
32,480	48,650	65,704	83,692	98,023	118,034	139,141	161,403	184,883	235,770	
5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	
							-7,440	-2,434	2,571	NPV
							0.05	0.05	0.06	IRR
							0.95	0.98	1.02	B/C R

<표 5.3>은 에너지절약방안에 대한 경제성분석의 평가항목으로 NPV(순현재가치), IRR(내부수익율), 그리고 B/C Ratio(편익/비용 비율)이 사용되었다. 초기투자

비가 144,000,000원이고, 유지비가 4,400,000원이며, 절감되는 전기에너지는 한국전력의 주택용 전력요금인 연간 5,280,000원으로 계산하여 연도별 집계, NPV, IRR 및 B/C Ratio를 계산하였다.

투자회수 연도는 NPV가 양수(陽數)이거나, B/C Ratio가 1이상이 되는 2027년으로, 회수기간은 27.5년이다. 이러한 27.5년의 투자회수 기간은 태양전지 시스템의 경제수명 보다 약간 상회하는 결과이다.

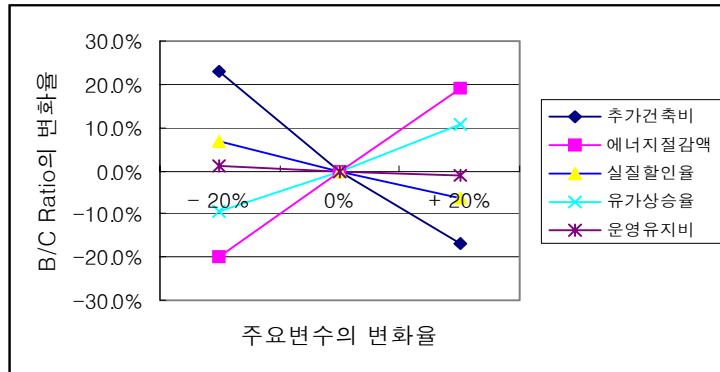
### 5.3 민감도 분석

#### 5.3.1 주요 항목의 민감도 분석

본 분석에 있어서 중요항목인 초기투자비, 에너지절감액, 유지비, 실질할인율 및 유가상승율을 대상으로 B/C Ratio에 대한 민감도분석을 시행하였다. 즉 중요변수들의 값을 -20%에서 +20%로 변화시켰을 때의 B/C Ratio의 변화율을 백분율(%)로 나타내었다. 민감도분석 결과는 <표 5.4>와 (그림 5.1)로 나타낼 수 있다.

<표 5.4> 주요항목의 변화에 따른 B/C Ratio의 민감도(%)

항목	B/C Ratio의 민감도(%)		
	-20%	0%	+20%
초기투자비	23%	0.0%	-17%
에너지절감액	-20%	0.0%	19%
실질할인율	6.7%	0.0%	-6.5%
유가상승율	-9.4%	0.0%	10.7%
운영유지비	1.0%	0.0%	-1.0%



(그림 5.1) 주요항목의 변화에 따른 B/C Ratio의 민감도

(그림 5.1)에서 주요항목의 변화율이 -20%에서 +20%일 때 B/C Ratio에 가장 큰 영향을 미치는 항목은 초기투자비로 +23%에서 -17%의 민감도를 보였다. 다음으로는 에너지절감액으로 -20%에서 +19%의 민감도를 가진다. 민감도 분석 결과 초기투자비 및 에너지절감액이 민감도가 큰 변수로 분석되어 PV 시스템의 경제성을 크게 좌우하는 것으로 나타났다. 민감도 분석 결과 실질할인율보다는 유가상승율이 더 큰 영향을 미치며, 유지비는 1%미만의 민감도를 보였다. 이와 같은 유가상승율, 실질할인율, 유지비 항목은 상대적으로 민감도가 작은 변수로 분석되었다.

따라서 민감도가 큰 초기투자비와 에너지 절감액에 대한 집중 분석을 위하여 두 항목의 변수들의 값을 변화시켜 경제성 분석을 실시하였다.

### 5.3.2 초기투자비 절감

초기투자비 절감은 항목을 5% ~ 30% 까지 변화시켜 투자회수 및 경제수명인 20년후인 2019년의 NPV 및 B/C Ratio를 분석하였다. <표 5.5>는 초기투자비 항목의 변화에 따른 NPV 및 B/C Ratio의 결과이다.

<표 5.5> 초기투자비 분석

(단위:천원)

구분	변화율					
	5%	10%	15%	20%	25%	30%
초기투자비	136,800	129,600	122,400	115,200	108,000	100,800
투자회수기간(년)	26.1	24.7	23.4	21.8	20.5	19.1
NPV(20년)	-29,426	-22,599	-15,773	-8,947	-2,120	4,705
B/C Ratio(20년)	0.78	0.82	0.87	0.92	0.98	1.05

분석결과 초기투자비 항목의 변화율중 25%와 30% 사이에서 NPV가 양수이며, B/C Ratio가 1이 넘는 비용이 분석되었다. 이를 바탕으로 경제수명인 20년 보다 투자회수기간이 적게 나오는 초기투자비 절감율인 27%를 산출할 수 있다.

<표 5.6> 경제수명 20년의 경제성 분석 (27% 투자절감)

(단위:천원)

구분		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
투 입	초기투자비	105,000								
	유지비								4,400	
	투입계	105,000							4,400	
회 수	에너지절약	5,280	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667	8,087
	회수계	5,280	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667	8,087
현금과부족		-99,720	5,569	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667	8,087
금융비용		-5,458	304	321	339	357	377	397	178	442
당기수지계		-105,178	5,873	6,195	6,534	6,892	7,269	7,667	3,446	8,529
누적수지계		-105,178	-99,304	-93,109	-86,574	-79,682	-72,413	-64,745	-61,299	-52,769
실질할인율		5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%
NPV										-57,369

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
					4,400						
					4,400						
8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	11,743	12,386	13,064	13,780	14,534	15,330
8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	11,743	12,386	13,064	13,780	14,534	15,330
8,529	8,996	9,489	10,008	10,556	6,734	11,743	12,386	13,064	13,780	14,534	15,330
466	492	519	547	577	368	642	678	715	754	795	839
8,996	9,489	10,008	10,556	11,134	7,103	12,386	13,064	13,780	14,534	15,330	16,169
-43,772	-34,283	-24,274	-13,717	-2,583	14,519	16,906	29,971	43,751	58,285	73,615	89,785
5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%
									-9,288	-4,282	723

<표 5.6>는 초기투자비가 27% 절감된 105,000,000원으로 투자회수 기간은 19.8년으로 분석되었다.

태양전지의 대량생산으로 인한 비용절감이 진행되고 있는데 그러한 비용절감 효과로 인해 투자에 대한 경제수명이 확보된다면 태양전지의 보급은 더욱 활발할 것으로 예측된다.

### 5.3.3 에너지 절감액 증가

에너지 절감액은 민감도가 큰 항목으로 전지효율이 향상되어 많은 전력이 생산되면 에너지 절감액은 커질것으로 예측된다. 에너지 절감액 항목을 태양전지효율의 변화율인 15% ~ 20% 까지 변화시켜 투자회수 및 경제수명인 20년후의 NPV 및 B/C Ratio를 분석하였다. <표 5.7>은 초기투자비 항목의 변화에 따른 NPV 및 B/C Ratio의 결과이다.

<표 5.7> 에너지 절감액 분석

구분	전지효율					
	15%	16%	17%	18%	19%	20%
에너지 절감액	5,648	6,016	6,384	6,752	7,120	7,488
투자회수기간(년)	25.6	24.1	22.5	21.1	19.9	18.9
NPV(20년)	-28,925	-21,598	-14,271	-6,944	383	7,710
B/C Ratio(20년)	0.80	0.84	0.90	0.95	1.0	1.05

분석결과 에너지 절감 항목의 태양전지효율 변화중 19%에서 NPV가 양수이며, B/C Ratio가 1이 넘는 비용이 분석되었다. 이를 바탕으로 경제수명인 20년 보다 투자회수기간이 적게 나오는 태양전지 효율인 19%를 산출할 수 있다.



<표 5.8>는 전지효율이 19%로 향상되면, 연간 한전 전기요금 7,120,000원을 절감하여 투자회수 기간은 19.9년으로 분석된다.

<표 5.8> 경제수명 20년의 경제성 분석 (전지효율 19%) (단위:천원)

구분	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	
투 입	초기투자비	144,000								
	유지비							4,400		
	투입계	144,000						4,400		
회 수	에너지절약	7,120	7,509	7,920	8,354	8,811	9,294	9,802	10,339	10,905
	회수계	7,120	7,509	7,920	8,354	8,811	9,294	9,802	10,339	10,905
현금과부족	-136,880	7,509	7,920	8,354	8,811	9,294	9,802	5,939	10,905	
금융비용	-7,492	411	433	457	482	508	536	325	596	
당기수지계	-144,372	7,920	8,354	8,811	9,294	9,802	10,339	6,264	11,502	
누적수지계	-144,372	-136,451	-128,097	-119,285	-109,991	-100,188	89,849	-83,584	-72,082	
실질할인율	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	
NPV									-57,369	

2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
					4,400						
					4,400						
11,502	12,132	12,796	13,496	14,235	15,014	15,836	16,703	17,617	18,582	19,599	20,672
11,502	12,132	12,796	13,496	14,235	15,014	15,836	16,703	17,617	18,582	19,599	20,672
11,502	12,132	12,796	13,496	14,235	10,614	15,836	16,703	17,617	18,582	19,599	20,672
629	664	700	738	779	581	866	914	964	1,017	1,072	1,131
12,132	12,796	13,496	14,235	15,014	11,195	16,703	17,617	18,582	19,599	20,672	21,803
-59,950	-47,154	-33,657	-19,422	4,407	6,788	23,491	41,109	59,691	79,291	99,963	121,767
5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%	5.474%
									-13118	-6367	382

지속적인 기술개발로 인한 태양전지효율이 향상되고 있는데 현재 적용되는 14%의 전지에서 현재 연구·개발중인 효율 19%의 전지가 적용된다면 경제수명내의 투자회수가 이루어지는 것으로 분석되었다. 이러한 기술개발은 투자에 대한 회수기간을 20년 이하로 단축시켜 태양전지의 보급은 더욱 활발할 것으로 예측된다.

## 제 6 장 결 론

본 연구에서는 첫째, 태양전지의 경사각, 방위각, 적용면적별 전력 생산 회귀식을 산출하였으며, 둘째, 공동주택 단지에 적용가능한 부위 및 면적을 산정하여 공급하는 전력량 및 담당비율을 시뮬레이션을 통해 분석하였고, 셋째, 경제성 분석을 실시하여 실제 적용가능성을 타진하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 태양전지 경사각은 지표면과 30°일 때 연간 116kWh/m<sup>2</sup>으로 전력생산량이 가장 많았다. 25°부터 35°범위에서는 연간 115kWh/m<sup>2</sup>으로 큰차이가 없는 것으로 나타났다. 경사각별 전력생산에 대한 회귀식은  $Y = -0.0998 X^2 + 6.7756 X + 811.03$  ( $R^2=0.99$ ) 이다.

둘째, 태양전지 방위각은 정남으로 설치되었을 때 연간 116kWh/m<sup>2</sup>으로 전력생산량이 가장 많았다. 방위각별 전력생산에 대한 회귀식은 동향일 때  $Y = -1.6582 X + 954.15$  ( $R^2=0.92$ ) 이며, 서향일 때  $Y = -2.8333 X + 957.08$  ( $R^2=0.98$ ) 이다.

셋째, 단위세대 공동주택의 발코니 부분에 적용되는 태양전지의 면적당 전력예측 회귀식은  $Y = -0.723 X^2 + 71.066 X + 328.26$  ( $R^2=0.98$ ) 로 나타났다.

넷째, 공동주택 단위세대 평형별 태양전지 전력사용량은 3R방식에서 3R-LDK 계단실형 type과 4R방식에서 4R-LDK 편복도형 type이 가장 많은 2110kWh의 전력을 생산할 수 있었다.

다섯째, 남향 공동주택의 각 세대별 발코니 부분에 적용된 태양전지 면적 8m<sup>2</sup>일 때 전지면적당 전력생산량은 연간 112kWh/m<sup>2</sup>이며, 발코니 부분에 적용된 태양전

지로 총전력부하의 18%를 담당할 수 있다. 옥상에 적용된 태양전지 면적은 180m<sup>2</sup>으로, 전지면적당 전력생산량은 연간 133kWh/m<sup>2</sup>이며 총전력부하의 6%를 담당할 수 있다. 이러한 전력량으로 발코니에 적용된 태양전지로는 세대별 조명부하를 공급할 수 있으며, 옥상에 설치된 태양전지로는 공동부분의 전력을 공급할 수 있다.

여섯째, 동향 공동주택의 옥상에 적용된 태양전지 면적은 135m<sup>2</sup>으로, 전지면적당 전력생산량은 연간 133kWh/m<sup>2</sup>이며 총전력부하의 9%를 담당할 수 있다. 남측수직벽에 적용된 태양전지 면적은 90m<sup>2</sup>으로, 전지면적당 전력생산량은 연간 60kWh/m<sup>2</sup>이며, 총전력부하의 3%를 담당할 수 있다. 옥상에 설치한 태양전지로 공동부분의 전력을 공급할 수 있다.

일곱째, 단지내 상가의 경사지붕에 적용된 태양전지로 공급되는 전력량으로 공공전력부하의 64%를 공급할 수 있다. 수평차양 부위에 적용된 태양전지는 여름철 창을 통하여 들어오는 일사를 막아주며, 연간 생산되는 전력량으로 공동전력부하의 9%를 공급할 수 있다. 주차장 지붕에 적용된 태양전지 면적 185m<sup>2</sup>으로 지하주차장의 조명부하를 전부 담당할 수 있다.

여덟째, 경제성 분석결과 투자에 대한 회수기간은 27.5년으로 나타났다. 민감도 분석 결과는 초기투자비 및 에너지절감액이 민감도가 큰 변수로 분석되었으며, 유가상승율, 실질할인율, 유지비는 상대적으로 민감도가 작은 변수로 분석되었다. 초기투자비가 27% 절감되거나 태양전지의 효율이 19%로 향상되면 태양전지의 투자 회수 기간이 20년이하가 되는 것으로 분석되었다.

오늘날, 지구환경의 문제는 에너지절약의 문제나 환경보전의 문제에서 더 나아가 인류문명의 지속가능성에 대한 문제로 인식된다. 현재 태양전지에 대한 지속적인 연구개발로 태양전지의 비용절감과 기술향상 및 보급이 전세계적으로 계속 확대될 전망이므로 태양전지의 적용가능성은 높을 전망이다.

## 참고문헌

1. 대한주택공사, **환경친화형 주거단지 모델개발에 관한 연구**, 1996.9.
2. (주) 대우, **저층 고밀형 친환경 주거단지 유형 개발을 위한 연구**, 1997.
3. 외교통상부, **환경과 개발에 관한 리우 선언**, 1998.
4. 외교통상부, **기후변화 협약 보고서**, 1998.
5. 이경희, **건축환경계획**, 문운당, 1996
6. 이연구 외, **건축환경계획론**, 태림문화사, 1993.
7. 김상용 외, **환경전과정 평가**, 시그마프레스, 1998.
8. John Dryzek著, 최승외 3譯, **환경문제와 사회적 선택**, 1995.
9. 신성휘, **기후변화협약 관련 선진국의 협상정책 결정요인 분석 연구**, 에너지경제 연구원, 1997.
10. 이종경, **지속가능한 개발을 위한 환경친화적 아파트 단지 계획방향 연구**, 중앙대 대학원 석사학위 논문, 1998.
11. 이은희, **폐교시설을 이용한 환경친화적 노인주거단지 계획에 관한 연구**, 중앙대 대학원 석사학위 논문, 1997.
12. 민양관, **환경친화형 주거단지의 계획요소에 관한 연구**, 청주대 대학원 석사학위 논문, 1998.
13. 이은택, **전전화주택에 적용된 태양열 급탕 시스템 및 태양전지 발전 시스템의 에너지 절약성 평가**, 대한건축학회 논문집, 제11권 11호, 1995.
14. 에너지기술연구소, **기후변화협약과 연계된 에너지 원천기술 기획**, 과학기술부, 1998.

15. 강기환 외, *Solar Roof*용 복합기능성 모듈의 설계 및 제작, 태양에너지학회 논문집, 1999.
16. 김동환 외, *태양전지 재료로서의 반도체*, 대한금속학회 논문집, 제10권 1호, 1997.
17. 나수연, *공동주택의 자연통풍 계획에 관한 연구*, 중앙대 대학원 박사학위 논문, 1999.
18. 김광춘, *경제성 분석에 의한 사무소 건물의 건축규모 결정에 관한 연구*, 서울대 대학원 석사학위 논문, 1997.
19. 김동현, *철골 및 철골 콘크리트 고층 아파트 건물의 환경비용을 고려한 라이프 사이클 코스트 분석에 관한 비교 연구*, 중앙대 대학원 석사학위 논문, 1996.
20. 이관호 외, *에너지 절약형 건축시스템의 경제성분석에 관한 연구*, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 2호, 1999.
21. 함효준, *경제성공학*, 동현출판사, 1998.
22. 국립환경연구원, *생태도시 조성 기반기술 개발 사업*, 1997.
23. 편집부, *태양광 발전 시스템의 설계·시공*, 월간 전기기술, 1997.
24. 에너지관리공단, *월간에너지소비통제*, 1997.
25. 日本地球環境住まい研究會, *環境共生住宅宣言*, 1992
26. L. D. Partain, *Solar Cells and Their Applications*, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1995.
27. R. H. Bube, *Photovoltaic Materials*, ICP, 1998.
28. John A. Duffie, William A. Beckman, *Solar Engineering of thermal Processes*, A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 1988.

29. ASHRAE, *ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTAL*, 1997.
30. National Renewable Energy Laboratory, *A consumer's Guide to Buying a Solar Electric System*, U. S. Department of Energy, 1999.
31. John A. Clark, *Solar Energy Fundamentals*, 1986.
32. National Renewable Energy Laboratory, *Photovoltaics : Basic Design Principles and Components*, U. S. Department of Energy, 1999.
33. Peter Toggweiler, *Renewable Energy World*, JAMES & JAMES, 1999, 7.
34. David A. Gottfried, *Sustainable Building Technical Manual*, Public Technology Inc, 1997.
35. Goran Runeson, *Investment Evaluation*, University of New South Wales, 1995.

# A B S T R A C T

## A Study on the Application Strategies of Photovoltaic in Apartment Complex

**Ko, Joon-Seong**

**Dept. of Architectural Engineering**

**The Graduate School**

**Chung-Ang University**

**Advised by prof. Rhee, Eon-Ku, Ph. D.**

Recently, as the interest in environmental pollution increases acknowledging that interrelated energy problem and environment problem, the use of renewable energy is uprising. Among the renewable energy resources, photovoltaic application is widespread and its research active in many countries. However, in Korea photovoltaic application and research is almost nil. Clean energy supply using photovoltaic system is important to prevent environmental pollution. Especially, application of photovoltaic in apartment house is the best used building to reduce pollution.

Consequently, photovoltaic system design is important work. So, application capability analysis of photovoltaic in Korea is this study aim.

The result of the study can be summarized as follows.

1) Optimum slope of PV is 30°angle. Annual electrical productivity is

116kWh/m<sup>2</sup>. Range 25°~ 35° are annual productivity 115kWh/m<sup>2</sup>. The regression equation through electrical productivity is  $Y = -0.0998 X^2 + 6.7756 X + 811.03$  ( $R^2=0.99$ ).

2) Optimum azimuth of PV is south direction. Annual electrical productivity is 116kWh/m<sup>2</sup>. The regression equation through electrical productivity facing toward east is  $Y = -1.6582 X + 954.15$  ( $R^2=0.92$ ). The regression equation through electrical productivity facing toward west is  $Y = -2.8333 X + 957.08$  ( $R^2=0.98$ ).

3) The regressive equation through electrical productivity on PV area in unit dwelling is  $Y = -0.723 X^2 + 71.066 X + 328.26$  ( $R^2=0.98$ ).

4) The unit plans to produce the most electrical productivity is 3R-LDK & 4R-LDK. Annual electrical productivity is 2100kWh.

5) Photovoltaic application in southern exposure balcony is designed to 8m<sup>2</sup> area, and electrical productivity is annual 112kWh/m<sup>2</sup>. The electrical productivity supply total electrical load 18% ratio. Photovoltaic application on rooftop is designed to 180m<sup>2</sup> area, and electrical productivity is annual 133kWh/m<sup>2</sup>. The electrical productivity supply total electrical load 6% ratio. The electrical productivity in balcony supply lighting load. The electrical productivity on rooftop supply public electric load.

6) Photovoltaic application on rooftop is designed to 135m<sup>2</sup> area, and electrical productivity is annual 133kWh/m<sup>2</sup>. The electrical productivity supply total electrical load 9% ratio. Photovoltaic application in southern exposure



vertical wall is designed to 90m<sup>2</sup> area, and electrical productivity is annual 60kWh/m<sup>2</sup>. The electrical productivity supply total electrical load 3% ratio.

7) Photovoltaic application on inclined roof of market building supply public electric load 64% ratio. Photovoltaic application in horizontal sunshade prevent solar radiation. Annual electrical productivity supplies public electric load 10% ratio. Photovoltaic application area 195m<sup>2</sup> in inclined roof of parking area supply public electric load 100% ratio.

8) About economic analysis resulting, years of capital recovery are 27.5 years. About Sensitive analysis resulting, both initial input cost and energy saving are sensitive variables. Oil rise rate, real discount rate and maintenance cost are non-sensitive variables. In that case initial input cost discounts 27% rate and PV's energy conversion efficiency improves 19% rate, therefore years of capital recovery are under 20 years.

Nowadays, Environmental problem deal with sustainable problems. Today, sustained study and research for cost-down and technical development of PV are very active in many countries. So application capability of photovoltaic is highly expectation.

## 감사의 글

시작이 있었으니 또한 끝도 있는 것 같습니다. 대학원 생활동안 격려와 도움을 주신 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.

학자로서, 스승으로서 늘 자상하고 따사로운 모습으로 제자들의 귀감이시길 마다하지 않으신 이 연구 교수님의 지도와 가르침에 존경과 감사의 마음을 드립니다.

학부시절부터 넓은 아량으로 지도해주시고, 부족한 저의 논문에 많은 조언을 해주신 이 명호 교수님과 김 덕재 교수님, 이 현호 교수님, 정 현수 교수님, 최 윤경 교수님, 박 찬식 교수님께도 감사를 드립니다.

대학원에 입학해서 지금까지 많은 학문적, 인간적인 가르침을 주셨던 선배님, 후배님들에게 감사드립니다.

많은 관심과 가르침을 주시며, 마치 친형처럼 후배들을 사랑해주신 송국섭 교수님, 박진철 교수님, 황정하 교수님, 김남규 교수님, 김세훈 교수님, 안태경 교수님, 신인중 교수님, 이동주 교수님, 권영철 교수님께 머리 숙여 감사드립니다.

연구실 생활에서 많은 도움을 주시고 관심과 격려로 많은 힘과 용기를 주신 관호 형과 성원이 형, 기훈이 형, 수연이 누나에게 깊은 감사를 드립니다. 하고 계신 프로젝트가 잘 마무리되길 기원합니다. 또한 이성환 선배님, 이용광 박사님과 얼굴만 봐도 기분이 좋아지는 홍선, 지윤, 윤일, 성준, 현승 후배님들에게도 감사드립니다. 이제 다시 연구실의 일원이 될 완기와 근영이에게도 감사를 전합니다. 미처 언급하지 못한 모든 연구실 선배님들과 계획, 시공, 구조 연구실의 선후배님들에게도 감사드리며, 중대 기독교학생 연합회 동기들에게도 감사드립니다.

낮선 방문에도 많은 자료와 조언을 해주신 고대 태양전지 연구실의 박사과정 이상현님과 예기연 태양광발전 연구팀의 강기환, 정영석 연구원님께도 감사드립니다.

특히 기도와 사랑으로 키워주신 부모님과 가족 모두에게 감사를 전하며, 저를 위해 아낌없는 사랑으로 대해주신 많은 분들에게 다시 한번 감사의 말을 전합니다. 더욱 성실한 자세로 모든 일을 대하는 것이 많은 분들의 은혜에 보답하는 길이라 다짐해 봅니다.

1999년 12월    고    준    성