

기계공학응용실험2

태양광/연료전지실험

Sihyuk Choi (최시혁)

Energy Materials & System Lab.
Dept. of Mechanical Engineering
Kumoh National Institute of Technology

sh.choi@kumoh.ac.kr

신재생에너지란?

대체에너지

석탄, 석유, 원자력 및 천연가스가 아닌 석유를 대체하는 에너지원
좁은 의미로는 신·재생에너지원

신&재생에너지

한국은 미래에 사용될 대체에너지로 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로
11개 분야를 지정 (대체에너지개발 및 이용·보급촉진법 제 2조)

재생에너지	태양열	태양광	풍력	소수력
	해양	지열	바이오매스	폐기물
신에너지	수소	연료전지	석탄액화가스화	

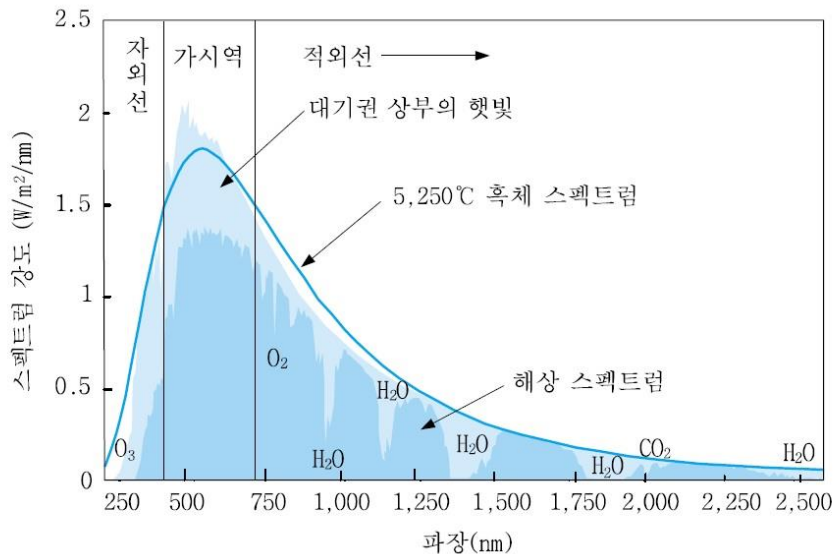
태양에너지

- **태양** : 직경 140만km(110배), 거리 1.5억km, 3.85×10^{23} kW
- **태양에너지**: 핵융합과 소입자 반응에 의해 태양외부로 방출되는 에너지.
- 태양의 표면 온도: 6000K, 표면의 안쪽(핵): 1500만도
→ 태양의 표면에서부터 오는 복사에너지에 의해 지구의 기온 좌우
- 지표 도달 태양에너지의 **0.01% 사용**
- 지표 도달 태양에너지는 연간 지구에너지 소비량의 만배
→ 지표 도달 태양에너지의 40분 분량으로 지구에너지 대체 가능



태양에너지

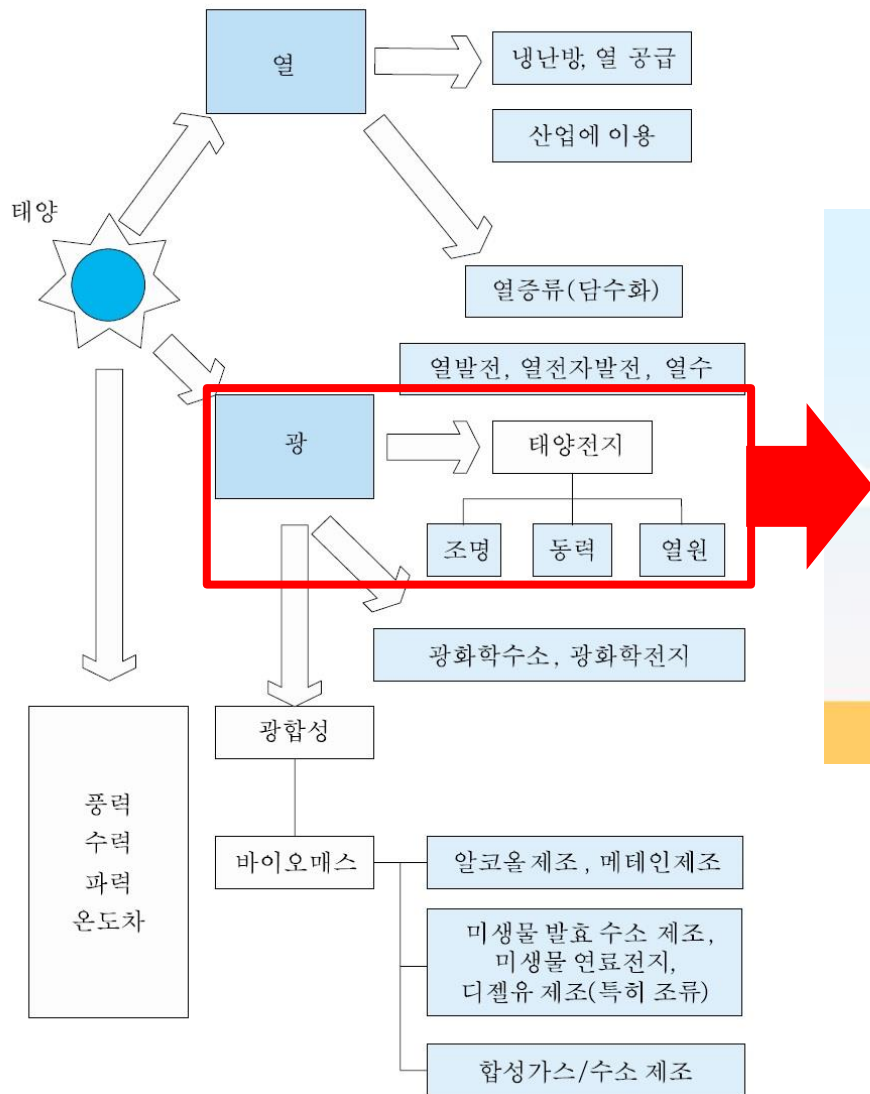
태양으로부터 지구에 도달하는 빛의 파장분포



- 태양으로부터 지구상에 들어오는 에너지의 총량 : 1.73×10^{14} kW (1m²당 1.395kW)
- 51%만 지구의 육지와 해양으로 흡수
- 지구로 흡수되는 에너지양 (51%) 중
 - 70%는 구름과 대기를 통해 우주로 방사,
 - 30%는 전도현상과 공기 상승, 수증기의 잠열 형태로 구름과 대기로 운반
- 필요동력에너지 : 10^{10} kW (태양 에너지의 0.01%)

태양에너지

이용 가능한 태양에너지의 형태



태양광 발전 시스템

태양광 에너지



- **태양광 에너지**는 태양광 발전 시스템을 이용하여 빛 에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 발전기술
 - 햇빛을 받으면 **광전효과**에 의해 전기를 발생하는 **태양전지**를 이용
- 태양광 발전 시스템은 몸에 나쁜공해(이산화탄소 등)를 만들지 않고, 연료도 필요 없으며 조용함.
- 쉽게 설치 할 수 있으며 오래 동안 사용 할 수 있다.
- 태양광 발전 시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module)과 축전지 및 전력변환장치로 구성됨.

태양광 발전 시스템



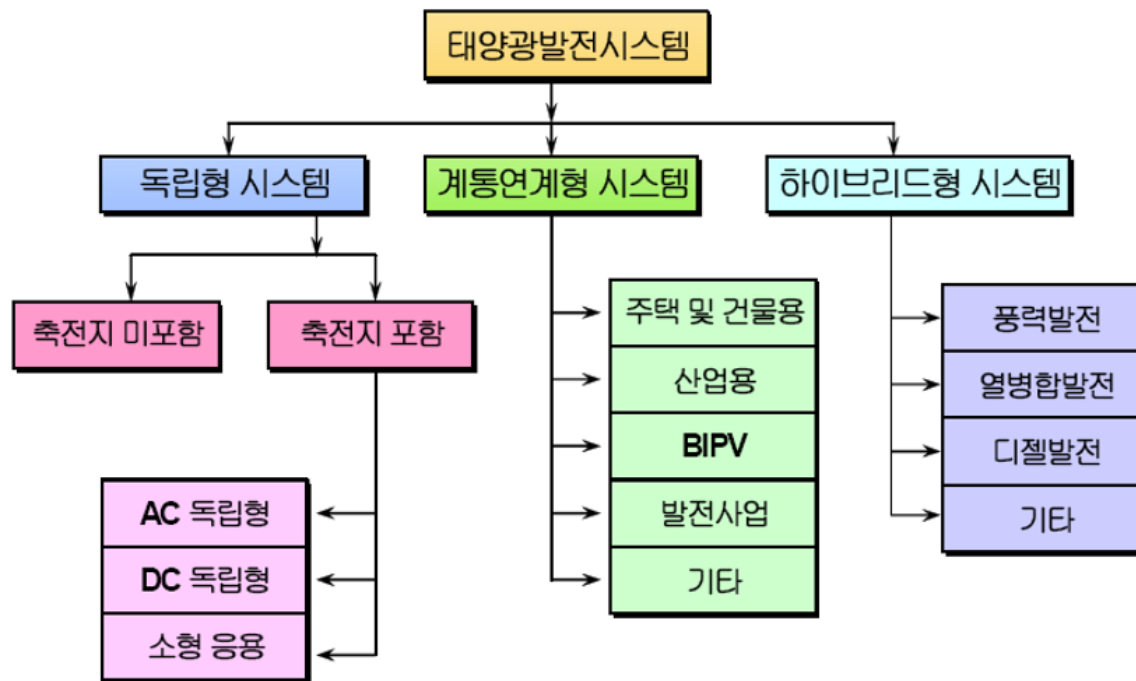
태양광 발전 시스템의 구성

- 태양전지판(태양광 패널): 태양에너지가 입사되어 전류를 생성시키는 곳
- 접속함: 모듈에서 발생된 직류(DC)전력을 모아 인버터로 전달하는 기기
- 인버터(inverter): 생산된 직류전기(DC)를 교류전기(AC)로 바꾸는 기기
- 축전지(battery): 낮에 생산된 전기를 밤에 사용할 수 있도록 전기를 저장하는 기기
- 모니터링 시스템: 시스템의 상태를 파악하고 고장 및 이상을 진단

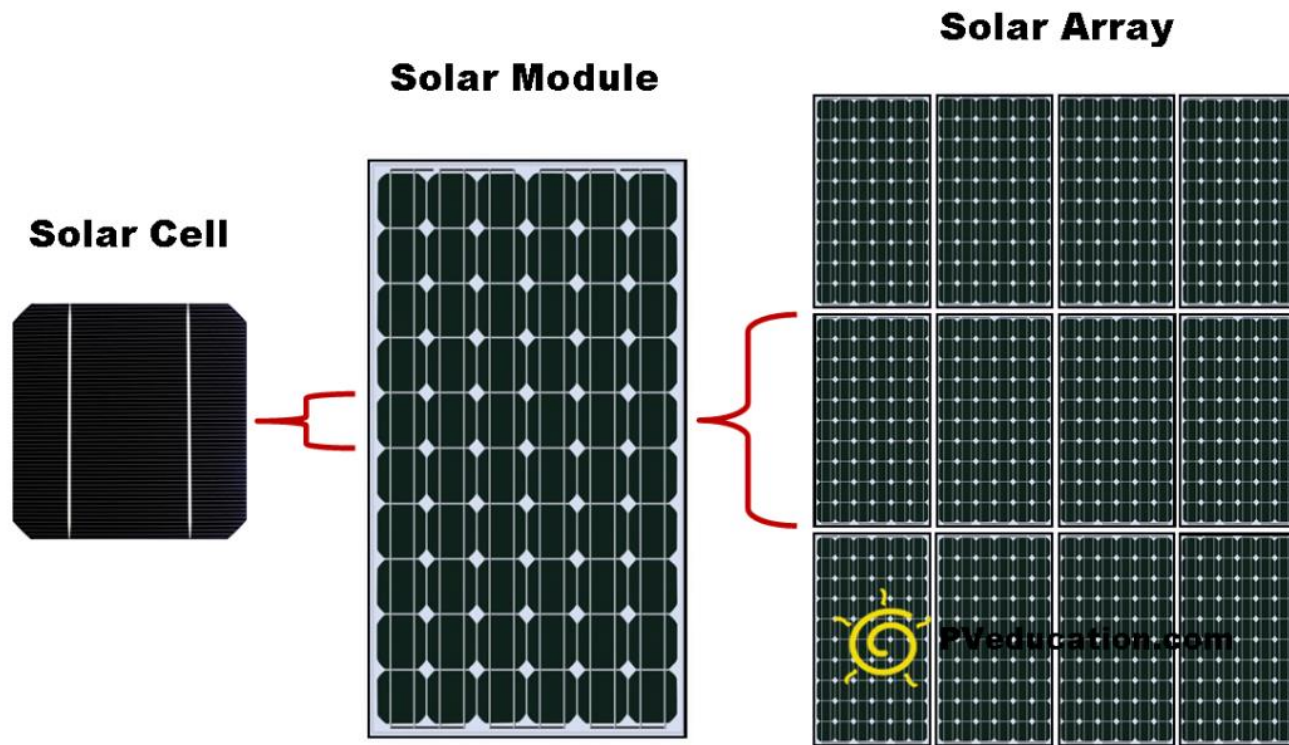
태양광 발전 시스템

태양광 발전시스템의 분류

- **독립형 시스템** : 계통이 연결되지 않는 오지에서 태양광 시스템을 구성하여 전기를 사용할 때 활용하는 구성이며 등대, 중계소, 인공위성, 도서, 산간, 벽지 등에 사용
- **계통연계형 시스템** : 한전 계통선이 들어오는 가정이나 빌딩, 대규모 발전시스템의 건물에서 태양광 발전 장치를 이용하여 전기를 생산하고 잉여 전력을 계통으로 송전
- **하이브리드형 시스템** : 풍력발전, 디젤발전 등 타 에너지원에 의한 발전방식과 결합된 방식



태양광 에너지



	구성 및 기능	예시
Solar Cell	태양광을 직류로 변환하는 소자	가로와 세로의 길이 125mm~156mm 정 사각형, 셀 당 0.5V~0.6V의 출력이 발생함
Solar Module	원하는 전압을 얻기 위해 셀을 직렬로 연결한 것	12V(24V)를 얻기 위해 60개 또는 72개 셀을 직렬로 연결함
Solar Array	복수의 패널을 다단 형태로 배열한 구조물	직렬과 병렬로 kW 단위의 용량을 구성함

태양광발전의 역사

1839년 프랑스 과학자 베크렐(Antoine Henri Becquerel)

“**광전 효과(photovoltaic effect)**” 발견

- 전해질내 2개 전극에서 발생하는 전력이 빛에 노출되면 증가하는 현상

1839년

Edmond Becquerel

- **Photovoltaic Effect** 발견

1954년

Bell Lab., RCA

- **Si** 태양전지 개발

1958년

Vanguard I

- 미국 우주선 보조전원 사용 (**5 mW**)

1970년대

석유파동

- 지상용 전원으로 활용 모색

1980년대 이후

에너지-환경

- 본격적인 기술개발 추진, 신재료, 대량생산 공정 개발

1997년

- 대표적인 환경친화적 발전기술로 부각

1999년

- 전세계 생산량 : 연간 **100 MW** 돌파

2000년

- 전세계 생산량 : 연간 **200 MW** 돌파

2002년

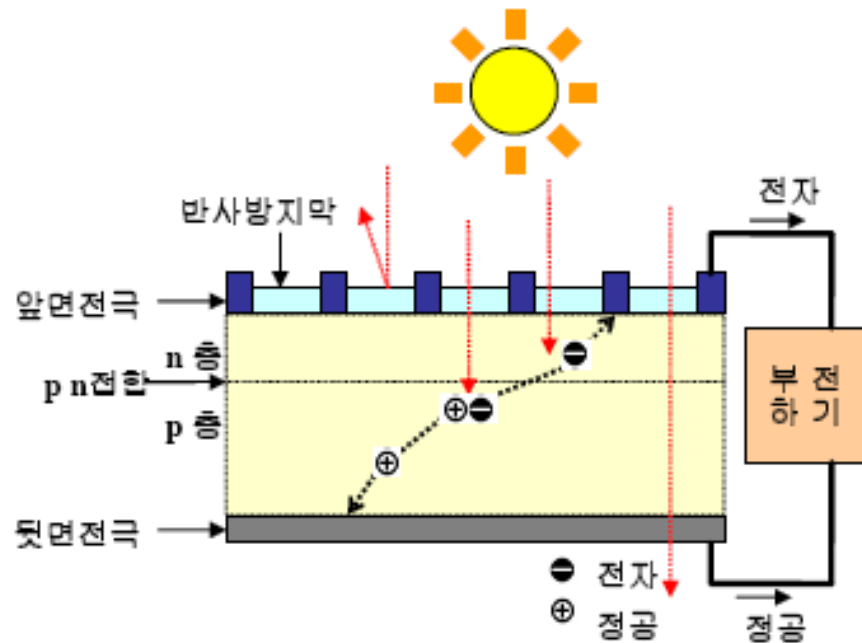
- 전세계 생산량 : 연간 **288 MW**

- 전세계 생산량 : 연간 **560 MW** 돌파

태양광발전 원리

광전 효과(Photovoltaic Effect) 이용

- n형과 p형 반도체를 접합한 **p-n접합 반도체**에 빛이 흡수되어 전자(electron)와 정공(hole)이 발생하며, p-n접합부 전기장에 끌려 n형에 전자(electron), p형에 정공(hole)이 전극으로 이동하여 전기가 발생



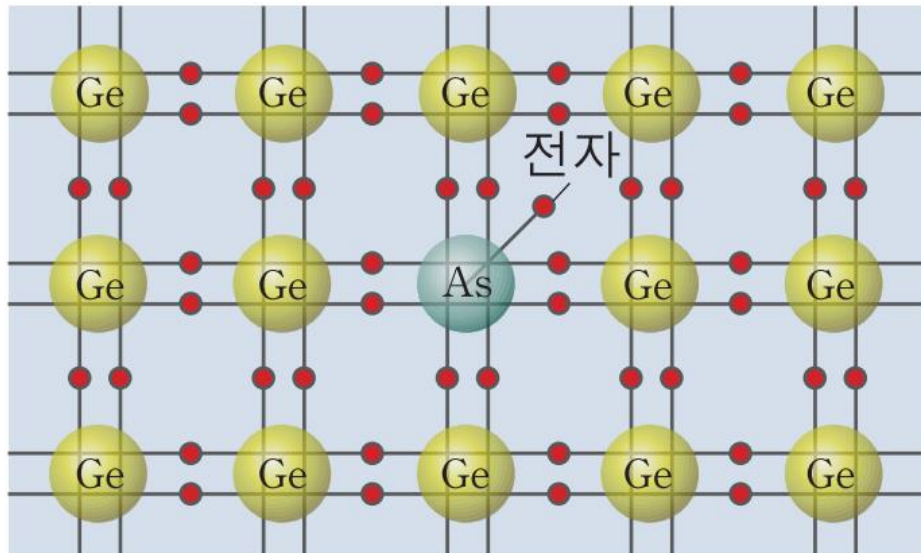
반도체란?

반도체의 특성과 기능

- **반+도체** = 도체와 부도체의 중간 성질
- **도체[Conductor]**: "전기 혹은 열이 잘 흐르는 물질"로 철, 전선, 알루미늄, 가위, 금 등.
- **부도체[Insulator]**: "전기 혹은 열이 흐르지 않는 물질"로 유리, 도자기, 플라스틱, 마른나무 등.
- **반도체[Semiconductor]**: "전기전도도가 도체와 부도체의 중간정도인 물질"로 SEMI(절반)+CONDUCTOR(도체)라는 뜻 → 순수 반도체는 부도체와 같이 전기가 거의 통하지 않지만, 어떤 인공적인 조작을 가하면 도체처럼 전기가 흐름
- 일반적으로 반도체는 주기율표의 **4족에 있는 진성반도체**와 **3족-5족 원소들의 결합**으로 이뤄지는 **불순물반도체**가 있습니다.
- **진성반도체**는 한 가지 원소로 구성된 반도체로서 **실리콘(Si)**과 **게르마늄(Ge)**이 있다.

불순물 반도체-n형 반도체

- 불순물 반도체: 순수 반도체에 불순물을 첨가(Doping)하여 전류를 더 잘 흐르게 만든 반도체 (**n형반도체와 p형반도체**)
- 순수한 상태인 반도체(진성 반도체)는 **14족(4+)**인 **Ge와 Si**만 존재하는 상태이고, **15족(5+)**원소나 **13족(3+)**원소의 불순물을 첨가(Doping)하여 n형반도체와 p형반도체를 만듦.

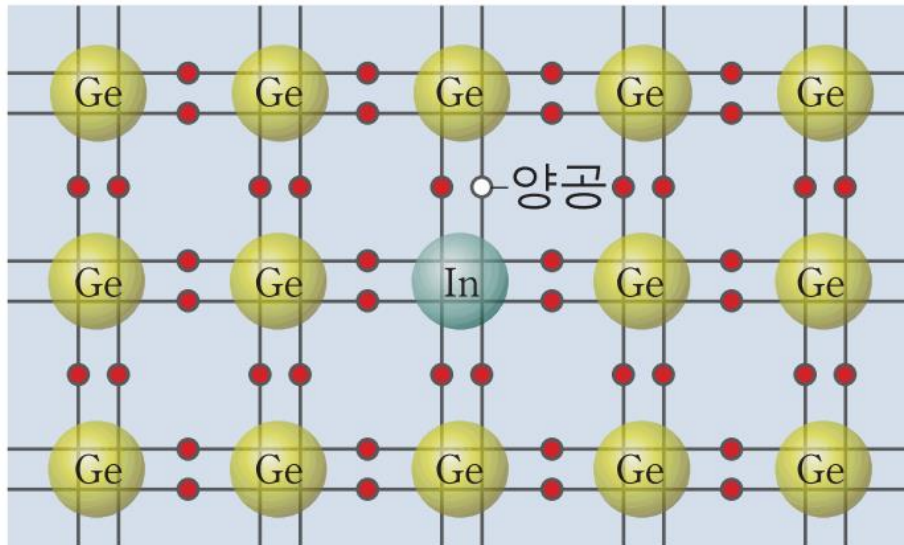


n형 반도체:

- 원자가 전자가 4개인 Ge, Si에 원자가 전자가 5개인 인(P), 비소(As), 안티몬(Sb) 등을 도핑한 반도체 → 공유 결합 후 **여분의 전자(electron)**가 생김
- **여분의 전자가 전하를 옮기는 운반자 역할**
- n형반도체를 만들기 위해서 사용되는 불순물을 **도너(Donor)**라고 한다.

불순물 반도체-p형 반도체

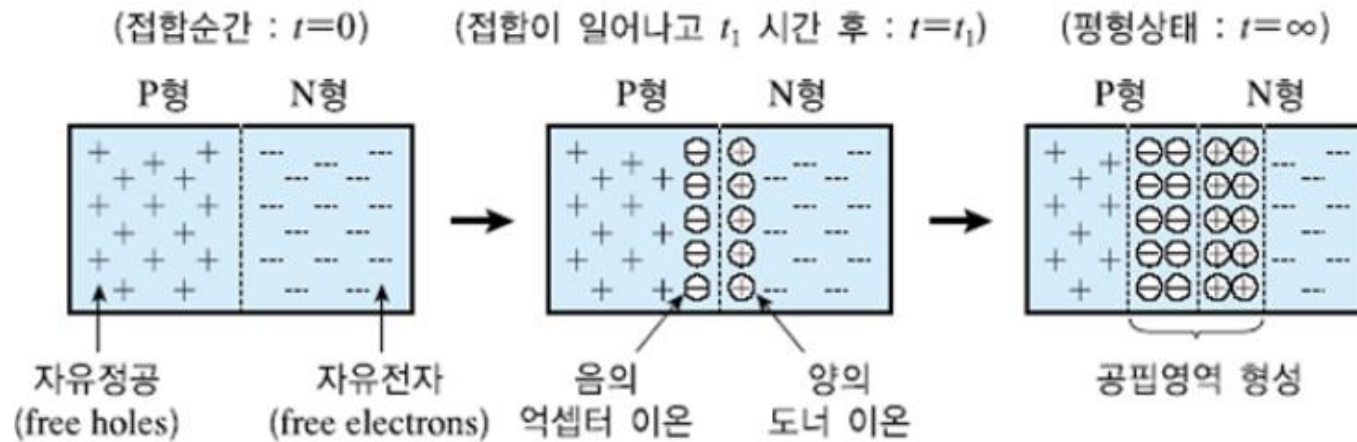
- 불순물 반도체: 순수 반도체에 불순물을 첨가(Doping)하여 전류를 더 잘 흐르게 만든 반도체 (**n형반도체와 p형반도체**)
- 순수한 상태인 반도체(진성 반도체)는 **14족(4+)**인 **Ge와 Si만 존재**하는 상태이고, **15족(5+)원소나 13족(3+)원소의 불순물**을 첨가(Doping)하여 n형반도체와 p형반도체를 만듦.



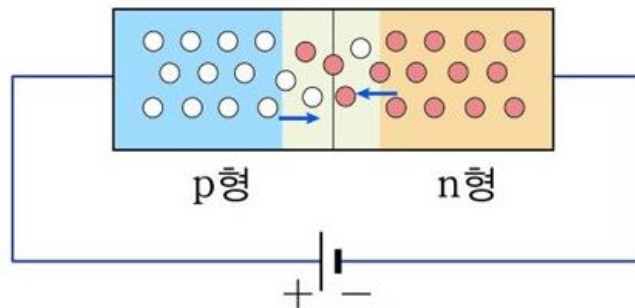
p형 반도체:

- 원자가 전자가 **4개**인 Ge, Si에 원자가 전자가 **3개**인 붕소(B), 알루미늄(Al), 갈륨(Ga), 인듐(In) 등을 도핑한 반도체 → 공유 결합 후 **여분의 양공(hole)**이 생김
- 양공(hole)이 전하를 옮기는 **운반자 역할**
- p형반도체를 만들기 위해서 사용되는 불순물을 **엑셉터(Acceptor)**라고 한다.

p-n 접합

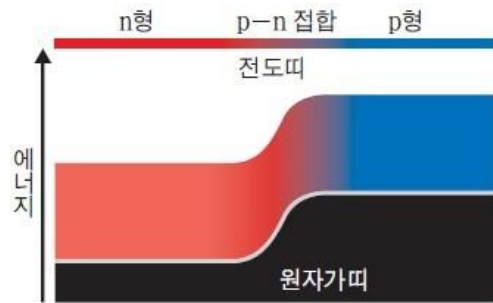


- p,n형 반도체 모두 전도율이 좋지만, 이 둘 사이의 접합면인 p-n 접합 부분은 그렇지 않다.
- p형 반도체의 운반자인 **정공**과, n형 반도체의 운반자인 **전자**가 서로 끌어당겨서 재결합하면서 없어지고, **전기 전도가 되지 않는 접합부를 공핍영역**을 형성
- p-n접합 반도체에는 어떤 방향으로 전압을 가하냐에 따라 전혀 다른 전기적 현상이 일어난다.



- **정방향 전압** (p형 에는 +, n형에는 -전압을 가했을 때): 정공(+)은 +전류에 반발이 생기고, -쪽으로 이동하고 전자(-)는 반대로 +극으로 이동하면서 **전류가 흐름**.
- **역방향 전압** (p형 에는 -, n형에는 + 전압을 가했을 때): **다이오드, 트랜지스터**

태양광 전지발전 원리



1. p-n 접합에 의해 접합부에 전자(electron)와 정공(hole)이 상쇄되고(공핍영역) 전하운반체가 없어지고 반도체 사이에 전기장만 존재



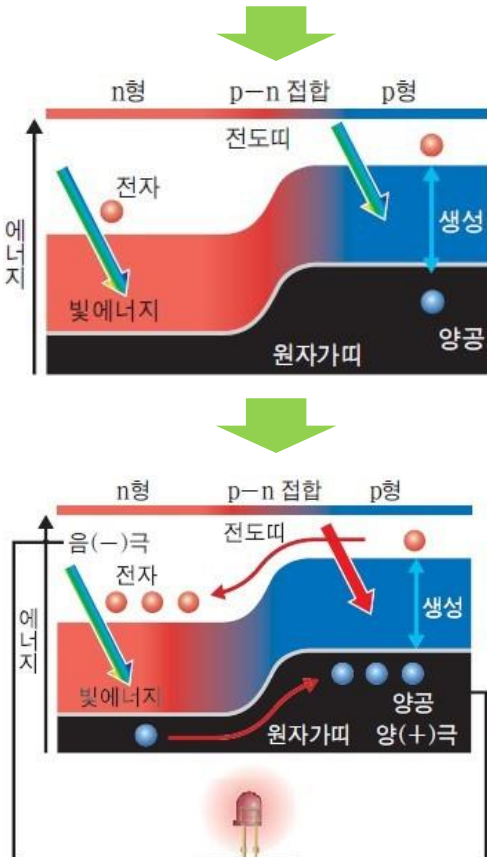
2. 태양 빛이 쏘이면, 광전효과가 발생하여 반도체 내부에 전자(electron)와 정공(hole) 생성되어 전기장 내에서 각각 n형 반도체와 p형 반도체로 이동



3. n형 반도체와 p형 반도체에 전자(electron)와 정공(hole) 쌓여 음극과 양극 형성



4. 도선을 연결하면 외부 회로에 전기가 발생



태양광 발전의 장단점

장점

- 에너지원이 청정하고 무제한
- 필요한 장소에서 필요한 양만 발전 가능
- 유지보수가 용이하고 무인화 가능
- 20년 이상의 장수명
- 건설기간이 짧아 수요 증가에 신속히 대응 가능

단점

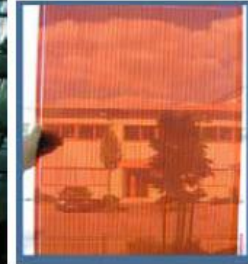
- 전력생산이 지역별 일사량에 의존
- 에너지밀도가 낮아 큰 설치면적 필요
- 설치장소가 한정적이고 시스템 비용이 고가임
- 초기 투자비와 발전단가 높음
- 일사량 변동에 따른 출력이 불안정

태양전지의 종류

- **1세대 - 결정질 실리콘 소재(crystalline silicon material):**
 - 단결정 실리콘 (single crystalline silicon)
 - 다결정 실리콘 (polycrystalline silicon)
 - 갈륨아세나이드 (GaAs)
- **2세대 - 박막형 PV 셀(thin file PV cell):**
 - 비정질 실리콘 (a-Si amorphous silicon)
 - 카드뮴 텔루라이드와 황화카드뮴 (CdTe와 CdS)
 - 구리-인듐-셀렌 태양전지 (CIS/CIGS)
- **3세대 - 유기/고분자, 하이브리드, 염료감응형 태양전지**
 - 유기/폴리머 태양전지 (OPV, Organic/polymer Photovoltaics)
 - 하이브리드 태양광 셀 (hybrid solar cell)
 - 염료감응형 태양광 셀 (DSSC, Dye-Sensitized Solar Cell)
 - 페로브스카이트 태양광 셀 (Perovskite solar cell)

태양전지의 사용

Application area : BIPV



Stillwell Avenue Terminal, Coney Island, New York
ca. 210 kWp, installation 2004



Semitransparent roof top

태양전지의 사용

솔라태양광발전소



가든 파이프(Garden 5)



시설명	가든 파이프(Garden 5)
설치연도	2008년
설치장소	서울시 송파구 문정동
용량	599kW
내용	- 건물일체형(BIPV) 시스템 - LIFE동 352kW, Tool동 247kW

시설명	솔라태양광발전소
설치연도	2009년
설치장소	경북 예천군 김천면 돈산리
용량	1MW
내용	- 태양광모듈 4994장 설치 - 고정가변형 시스템

태양전지 발전 이론

태양전지의 변환효율 (Conversion Efficiency)

- 태양전지에 입사되는 빛에너지(W/m^2)와 태양전지에서 나오는 전기 출력 에너지의 비율

➤ 60W 급 태양전지모듈의 효율 계산

- If, 최대전류 4A, 최대 전압 15V → 출력 : 전류 x 전압 = 4A x 15V = 60W
- 면적 $0.5\text{m} \times 1.0\text{m} = 0.5 \text{ m}^2$
- 1m^2 당 입사 에너지량 (W/m^2) = $0.5 \text{ m}^2 \times 1000 \text{ W}/\text{m}^2 = 500 \text{ W}$
(태양전지에 입사되는 에너지)

➤ 태양전지 변환효율 (%)

$$\begin{aligned} &= \text{태양전지 출력} / 1\text{m}^2\text{에 입사된 에너지량} \times 100 (\%) \\ &= 60\text{W} / 500\text{W} \times 100 = 12\% \end{aligned}$$

단결정질실리콘 = 14%~ 18%

다결정질실리콘 = 12% ~ 15%

비결정질실리콘 = 10%내외

유기물(플라스틱),

CIGS 박막형의 효율 = 4% ~ 8%

GaAs(갈륨-비소) = 40%

태양전지 발전 이론

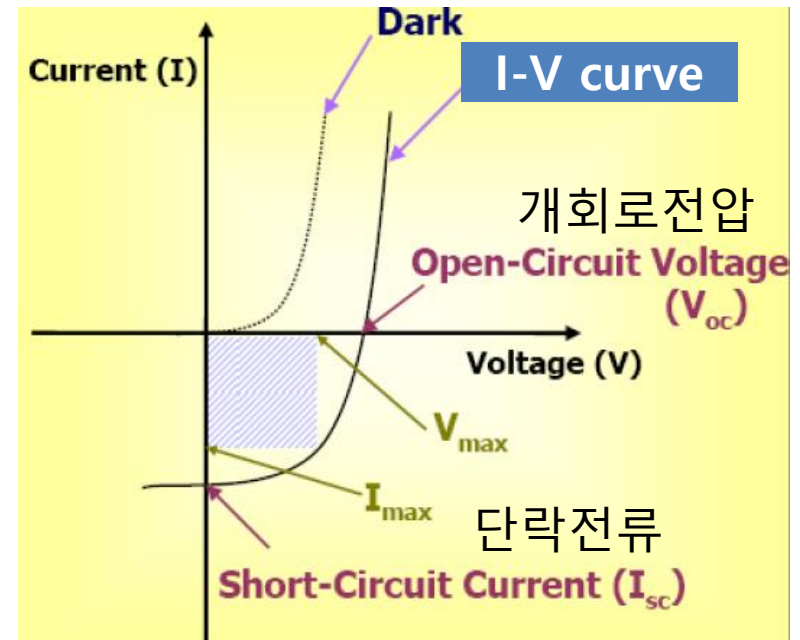
➤ 공칭효율 η_n (nominal efficiency) :

100mW/cm²의 입력광 파워와 최대출력과의 비

$$\eta_n = \frac{\text{최대전압} \times \text{최대전류}}{100\text{mW/cm}^2}$$

➤ FF 필팩터(Fill factor) :

$$FF = \frac{\text{최대전압} \times \text{최대전류}}{\text{개회로전압} \times \text{단락전류}}$$



- **Short-Circuit Current (I_{sc})** For $V = 0$, $I = I_{sc}$
- **Open-Circuit Voltage (V_{oc})** For $I = 0$, $V = V_{oc}$
- **Fill Factor (FF)** $= (I_{max} \times V_{max}) / (I_{sc} \times V_{oc})$
 $= P_{max} / (I_{sc} \times V_{oc})$

태양전지 발전 이론

태양전지 성능 평가

광 조사 상태에서 측정되는 태양전지의
IV 특성 곡선

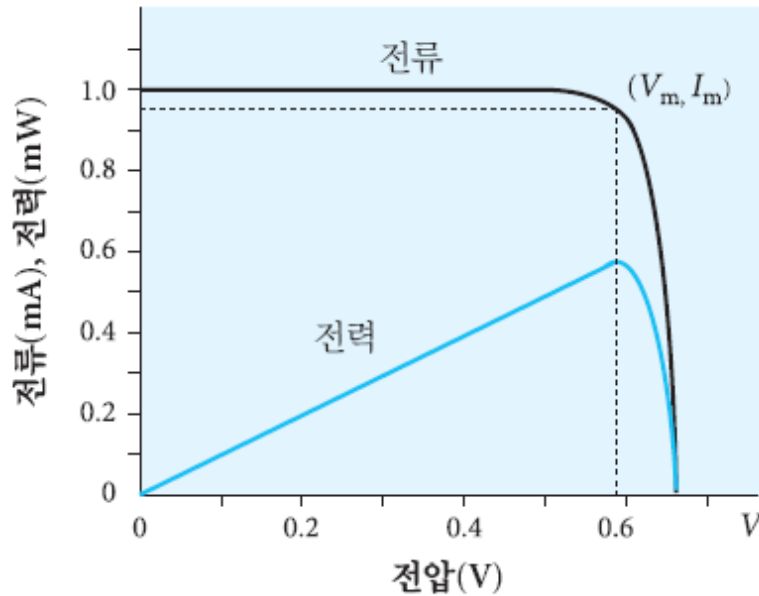
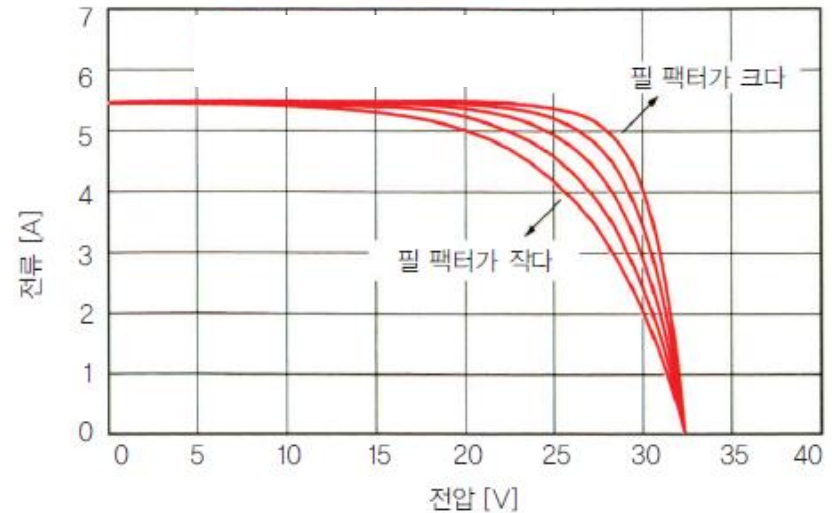
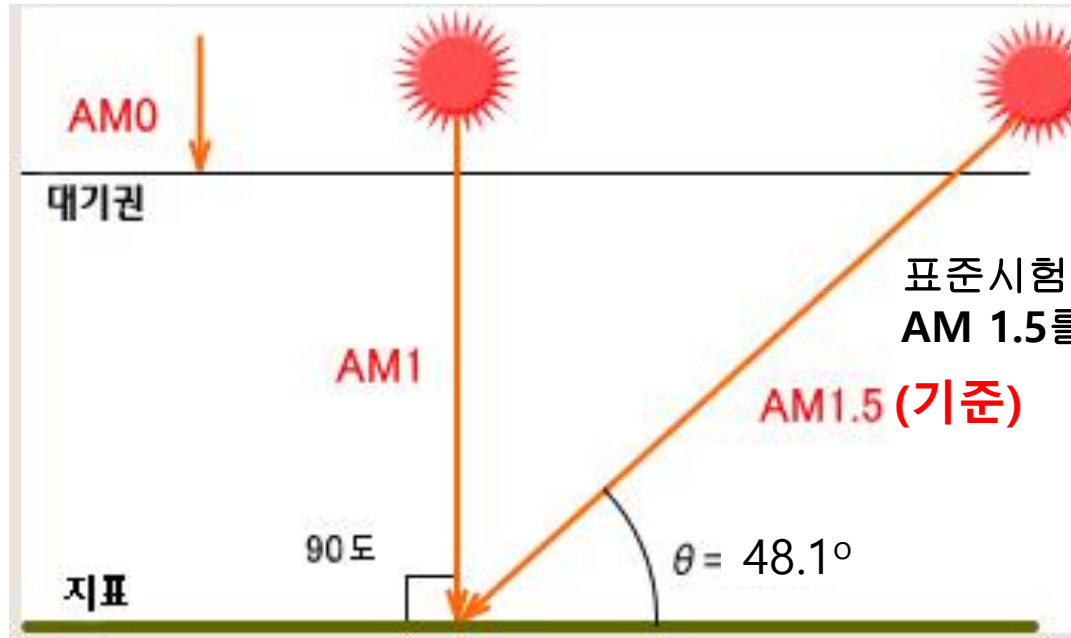


그림 6.8 태양전지의 특성.



태양의 위치 변화에 따른 효율 변화



- **Air Mass (AM)** : 태양의 직사광이 지표면에 입사하기까지의 과정에서의 대기질량 정수 (태양빛이 통과하는 공기의 양)
- AM 0 : 지구 대기권 밖의 태양 스펙트럼.
- AM 1 : 지나는 공기양이 가장 적은 경로, 즉 내 머리 바로 위에 해가 떠있을 때
- 숫자가 커질 수록 각도가 커지며 지나는 공기양도 많아진다

태양광 발전 실험

목적

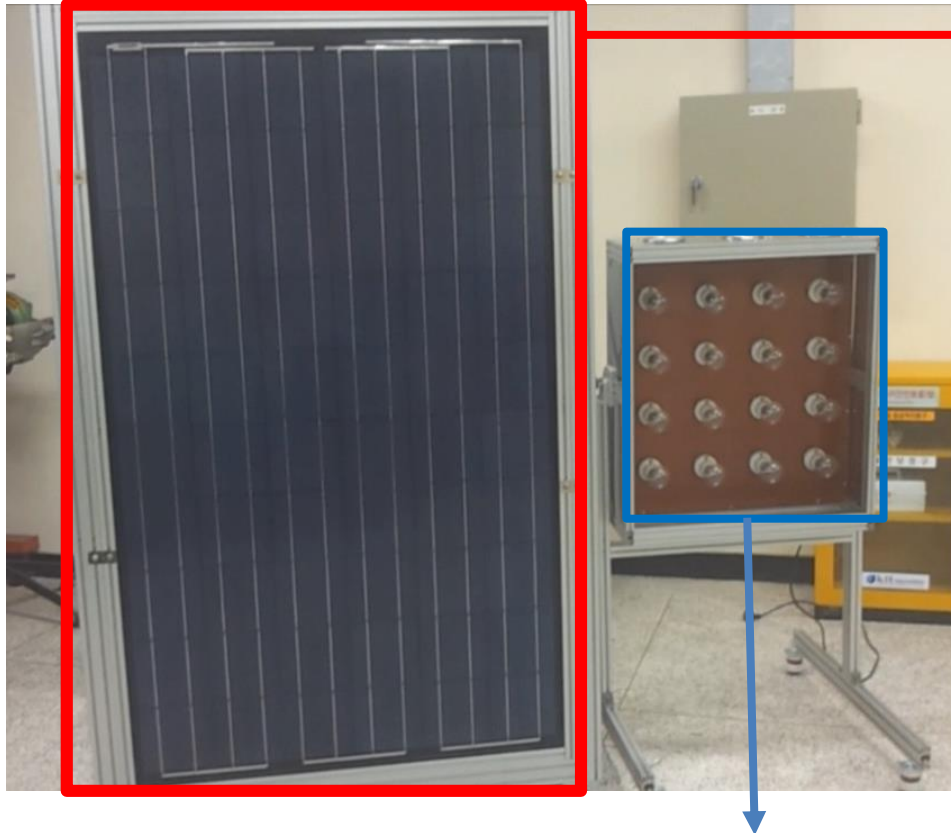
실험을 통하여 태양의 위치에 따른 발전 출력(효율)의 변화와 태양전지시스템의 밝기 정도에 따른 출력을 측정 관찰하여 태양광발전 추적장치에 대한 필요성 등을 인식

실험장치 구성

광원
광원제어기
태양전지모듈
검출기



태양광 발전 실험



1. 솔라셀 판넬

빛 에너지를 전기에너지로 변환



150mm*150mm의 솔라셀로
총 60개로 이루어짐

2. 인공태양

빛 에너지를 발생시키는 장치로, 밝기조절이 가능

실험 방법

1. **밝기**에 따른 태양전지발전기의 출력을 측정

- 인공 태양의 전원을 공급
- 인공 태양의 밝기를 상중하로 조절
- 밝기 조절 시 천천히 돌릴 것
- 태양전지판의 위치에 따라 빛 에너지를 측정
- 전압과 전류를 측정

2. 태양의 **각도별** 태양전지발전기의 출력을 측정

- 인공 태양의 전원을 공급
- 인공 태양의 밝기가 일정하게 고정
- 인공태양의 각도를 변화
- 일정시간 기다림
- 태양전지판의 위치에 따라 빛 에너지 측정
- 전압과 전류를 측정

주의사항

- 솔라판넬에 그림자가 지면, 빛의 세기가 달라져 결과값에 영향을 미침
- 솔라판넬의 청결상태(먼지나 이물질)에 유의
- 외부의 빛을 차단하고(형광등불빛등) 실험진행
- 가변저항의 변화 횟수에 따라 결과값 차이가 발생
- 가변저항에서 열이 발생하기 때문에 안전에 유의
- 조도계 및 전압 전류의 측정 단위에 유의

보고서 양식

1. 아래의 문제에 보고 총 입사에너지는 어떻게 변화하는지 기술하시오..

평균 세기 200 W m^{-2} 의 태양직사광(direct sunlight)이 태양전지 위에 평소처럼 입사한다. 전지의 면적은 0.1 m^{-2} 이다. 하루의 총 입사에너지는 몇 kWh와 MJ인가? 만약 햇빛이 전지 표면의 법선에 30° 각도로 떨어질 경우에 총 입사에너지는 어떻게 변화되는가?

2. 차단전류가 1mA, 개회로 전압이 0.66V 인 경우 아래의 측정자료로부터 필팩터를 계산하시오..

V (volts)	0.10	0.30	0.50	0.55	0.58	0.60	0.62	0.64	0.66
I_C (mA)	1.0	1.0	1.0	0.98	0.95	0.89	0.77	0.51	0.0
P_C (mW)	0.1	0.3	0.5	0.54	0.55	0.53	0.48	0.33	0.0

3. n형과 p형 반도체에 관하여 요약하여 기술하시오..

보고서 양식

4. 실험결과정리

태양광 실험은 ①태양의 각도별에 따른 출력 측정과 ②밝기에 따른 출력 측정으로 진행이 됩니다. 주어진 각각의 실험 결과 데이터를 보고 아래의 요소들을 계산하여 도출하거나 결과들을 그래프로 정리하시오.

- 1) 모든 실험에 대해 단락 전류, 개회로 전압, 전력, 필팩터를 구하시오.
- 2) 모든 실험에 대해 전력-전압 그래프를 그리고 결과에 대해 기술하시오.
- 3) 태양광 셀 면적이 0.0225m^2 , 셀의 총 개수는 60개 일 때, 각각의 실험에 대하여 태양광 시스템의 효율을 구하시오.

5. 고찰

6. 태양전지의 효율이 100%가 아닌 이유에 대하여 기술하시오.

7. 참고문헌