

풍력발전 기본지식



MiniSOLAR

경기도 고양시 일산동구 장항동 757

경기벤처빌딩 501호

TEL. 031-906-7500



www.minisolar.co.kr

미니솔라(주)는 **신재생에너지 과학실험교재** 전문업체입니다.

MiniSOLAR 제품 소개

- ➡ 직접 체험해보는 태양전지 발전실험세트 5종
M101, P101, P201, P301, P302
- ➡ 풍력발전의 원리를 체험해보는 과학실험키트
MWG-400
- ➡ 풍 · 수력 터빈의 원리를 체험해보는 미니터빈실험키트

※ 홈페이지를 방문하시면 더 많은 제품을 구경하실 수 있습니다.



1. 풍력에너지

풍력에너지의 이용은 오랜 고대로부터 내려오고 있으며 물을 퍼 올리는 데 사용하였거나 간단한 수직축 풍차를 사용하여 곡식을 찧는 농기계로 사용하였고, 또한 관개에 응용하였다. 19세기에 들어 와서 유럽이나 미국에서는 각기 지역 특성에 적합한 풍차를 개발하여 사용하였으며, 그 범위가 관개용, 농업용, 전력용 등 매우 다양하였다.

미국의 경우 19세기 중엽까지 관개용, 전력용 등의 소형 풍차가 600만개 정도 운영되었으며 P.C. putnam에 의해 대형 풍력발전이 전력생산에 경제성이 있다고 판정된 후 1.25MW 출력의 대형 풍력발전시스템이 그랜드파 언덕의 600m 산 위에 건설되었다.

그 후 제2차 세계대전을 전후하여 각국의 에너지 소비가 증대함에 따라 석유, 석탄 등의 화석연료가 출현하여 모든 에너지원이 대체되기 시작하면서 풍력에너지의 이용도 점차 감소하였다. 하지만 다시 1970년대 중반부터 풍력에너지를 이용한 발전 시스템에 관하여 집중적인 연구가 다시 시작되었으며 풍력발전시스템 개발 및 풍차의 특성을 연구 분석하여 발전시켰다.



〈풍차〉

2. 풍력발전이란?

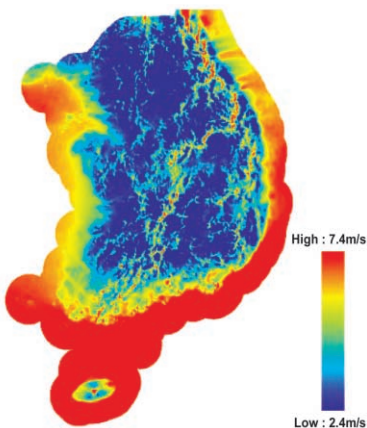
풍력발전(Wind Power Generation)은 바람이 가진 운동에너지를 전기에너지로 바꾸는 것을 말한다. 이러한 에너지 변환과정을 통해 전력이 생산되며, 생산된 전력은 가정에서, 회사에서, 그리고 공장 등에서 사용되기도 하고, 한국전력에 역송전하여 전기를 판매할 수도 있다.

풍력발전의 장점은 이산화탄소를 절감하는 동시에 화석연료를 대체할 수 있고, 환경오염이 없는 경제적 그린에너지라는 점이다. 자연 상태의 무공해 에너지원으로 연료비가 들지 않고, 유지비가 저렴할 뿐 아니라 건설 및 설치기간도 짧아 차세대 신재생에너지의 ‘꽃’으로 주목받고 있기도 하다.

〈바람과 풍력발전〉

바람은 공기의 흐름을 말한다. 풍력발전기는 바람을 이용하는 발전시스템이므로 바람이 많이 부는 곳에 설치하여야 좋다. 바닷가나 높은 산에는 일년 내내 바람이 많이 불기 때문에 풍력발전소를 짓기에 적당한 장소이다.

참고로 우측의 그림은 기상청에서 만든 80m 고도의 우리나라 풍력자원지도이다.



〈우리나라의 풍력자원지도〉

〈풍속이란?〉

풍속이란 ‘공기 흐름의 빠르기’로 기상학에서는 거의 수평으로 부는 자연풍의 속도를 말한다. 활짝 트인 평탄한 지상에서는 일반적으로 지표면으로부터 약 10m의 높이에서의 풍속을 로빈슨 풍속계로 측정한다. 풍속의 단위는 m/s(또는 노트)를 사용. 우리나라 최대풍속은 50m/s 전후이며, 일반적으로 풍속은 지표면으로부터의 높이가 높을수록 증가한다.

〈풍속과 풍력발전〉

풍력발전은 풍속이 너무 약해도 발전이 되지 않고 또 너무 강한 바람이 불어도 일정한 양 이상 발전이 되지 않는다. 바람이 불어 발전을 시작할 수 있는 최소 풍속을 ‘컷인 풍속’이라고 하며 바람이 너무 강하여 정격출력 이상으로 출력이 커졌을 때의 풍속을 ‘컷아웃 풍속’이라고 한다. 일반적인 풍력발전기의 컷인 풍속은 3~3.5m/s, 컷아웃 풍속은 14~20m/s이다.

풍력발전에 가장 적합한 풍속은 발전기마다 조금씩 다르나 일반적으로 10m/s 정도가 가장 좋으며 최고 풍속 50~60m/s까지 견디도록 설계되어 있다. 태풍과 같이 아주 풍속이 빠른 바람이 불 때면 발전기의 안전을 위하여 발전이 정지되는 장치가 있다. 이때의 풍속을 한계풍속(cut out wind speed)이라고 한다.

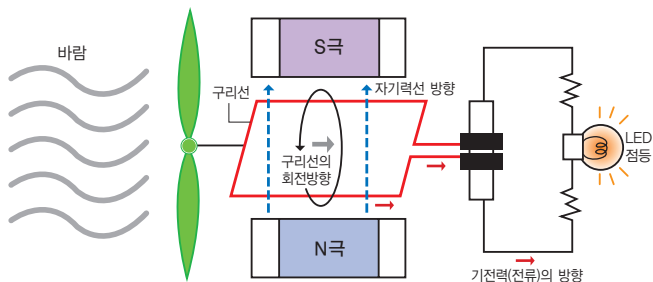
3. 풍력발전의 특징

풍력발전은 자연 상태의 무공해 에너지원으로 현재의 기술로는 대체에너지원 중 가장 경제성이 높은 에너지원으로써 바람의 힘을 회전력으로 전환시켜 발생하는 전력을 전력계통이나 수요자에 직접 공급하는 기술이다. 이러한 풍력발전을 이용한다면 산간이나 해안 오지 및 방조제 등 부지를 활용함으로써 국토이용효율을 높일 수 있다.

풍력발전 시스템이란 다양한 형태의 풍차를 이용하여 바람 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 시스템을 말한다.

아래 그림은 풍력발전기의 모형을 간단하게 그려본 것이다. 양쪽에 있는 자석에 의해 형성된 자기장이 풍차가 움직이면서 자속이 변하면서 유도전류가 흐르게 되어 전력을 발생시키는 것이다.

풍력 ----> 날개 회전 ----> 전자 유도 ----> 기전력(전류) ----> LED 점등



4. 풍력발전의 장점

풍력에너지는 무한정의 청정에너지원이며 화석연료 과다 사용으로 인한 화석연료 고가의 완충 작용을 한다. 그러므로 지구온난화의 주범인 CO₂의 발생을 초래하지 않아 친환경적 에너지라고도 할 수 있다. 또한 대체에너지로 화석연료의 수입 사용을 감소 또는 억제한다.

현재 우리나라를 이용한 원자력 발전이 전체 전력 생산의 높은 비중을 차지함을 감안할 때 원자력 발전으로 인한 방사능 유출이나, 방사능 폐기물 처리 등에 있어서도 자유롭다고 할 수 있다.

풍력발전시설은 다른 발전시설에 비해서 가장 투자비가 저렴한 시설이며 건설 및 설치기간이 짧다. 그리고 집단 설치된 풍력발전단지 내에서도 단위용량의 풍력발전기 개별가동이 용이하다. 풍력발전시설단지는 농사, 목축 등 토지 이용의 효율성을 높인다.

5. 풍력발전의 효율

이론적으로 바람에너지의 60% 정도를 전기로 전환할 수 있다는데 실제로는 날개 모양에 따른 효율, 기계적인 마찰, 발전기 자체의 효율 등에 의해 바람에너지의 20~40% 정도를 전기로 전환한다고 한다. 풍력발전기 한 대에서 생산되는 전력은 최근 1,000kW가 넘는 것도 있다.

6. 설치 장소

풍력발전기는 바람의 세기가 4m/s 이상인 곳에 세울 수 있는데 최적의 바람의 세기는 약 10m/s이다. 현재 우리나라에서도 바람이 많이 부는 대관령, 태백, 울릉도, 새만금, 제주도 등에 풍력발전기가 설치되어 있고 꾸준히 설치지역이 늘고 있다.



7. 풍력발전기의 분류

풍력발전기는 회전축의 방향에 따라 회전축이 지면에 대해 수직으로 설치되어 있는 수직축 풍차와 회전축이 지면에 대해 수평으로 설치되어 있는 수평축 풍차로 구분된다.

수평축 풍차의 대표적인 예로는 프로펠러형 풍차를 들 수 있다. 프로펠러형 풍차는 항공기의 프로펠러와 유사한 형태의 풍차로서 효율이 높고 회전 속도가 빠르기 때문에 주로 발전용으로 많이 사용된다. 프로펠러형 풍차는 바람이 풍차 날개를 통과할 때 발생하는 양력에 의해 구동되며, 풍차의 회전 속도는 날개의 붙임각과 회전면 적비에 따라 매우 민감하게 변한다.

풍력시스템의 정격출력은 설계 풍속에 의해 결정되며, 설계 풍속 이상의 바람이 풍차를 통과할 때는 풍차의 회전속도가 과도하게 증가하여 풍차가 파손된다. 이와 같은 파손 및 과회전을 방지하기 위하여 수평축 풍차에서는 안전장치를 필요로 한다.



〈프로펠러형〉

〈다익형〉

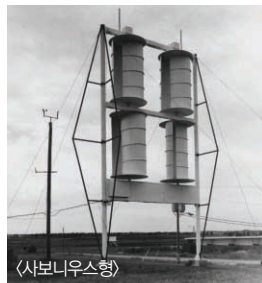
수직축 풍차는 로터(Rotor)가 수직축에 장착되어 있으며 가장 많이 사용되는 풍차는 다리우스(Darrieus) 풍차와 사보니우스(Savonius) 풍차를 들 수 있다. 날개의 구부러진 형태는 로프의 양 끝을 잡고 회전시켰을 때 발생하는 형태를 취하고 있으며 이러한 형태로 인하여 풍차가 회전할 때 날개의 전단력이 발생하지 않고 인장력만 작용하므로 구조적으로 안전하다는 장점이 있다.

■ 사보니우스형 풍차

사보니우스 풍차는 오목 부분과 볼록 부분을 엇갈리게 접합한 형태로 항력을 이용한 풍차의 한 형태이다. 저속성능이 좋아 적은 동력을 얻기에 적당하며, 수직축이므로 풍향추적장치가 필요 없어 시스템이 간단하나 단위 마력 당 중량이 무겁다는 단점으로 인하여 큰 동력을 얻기에는 적합하지 않다.

■ 다리우스형 풍차

다리우스 풍차는 양력에 의해 구동되므로 효율이 높고 회전속도가 빠르기 때문에 발전용으로 많이 사용되고 있다. 하지만 다리우스 풍차는 시동토크가 적어 스스로 시동하기 어렵다는 단점을 가지고 있다.



〈사보니우스형〉



〈다리우스형〉

수평축 풍차에 비해 수직축 풍차가 가지고 있는 일반적인 단점으로는 스스로 시동하기가 어렵고, 난류유속에서 날개의 작동은 진동 등의 구조적인 문제를 가져올 수 있으며, 낮은 회전속도와 동역학적 효율, 에너지생산을 가져온다. 그리고 넓은 전용면적이 필요하다.

■ 수평형(HAWT)

- 장점 : 고성능, 고효율, 대용량 발전, 풍속변동에 따른 피로하중이 적음
- 단점 : 복잡한 구조, 고비용, 운송 및 설치 비용이 큼

■ 수직형(VAWT)

- 장점 : 풍향과 무관하게 발전, 기어박스 및 발전기 지상 설치, 낮은 풍속에 발전가능(2m/s), 간단한 구조
- 단점 : 넓은 설치 면적이 필요, 기동 토크 필요

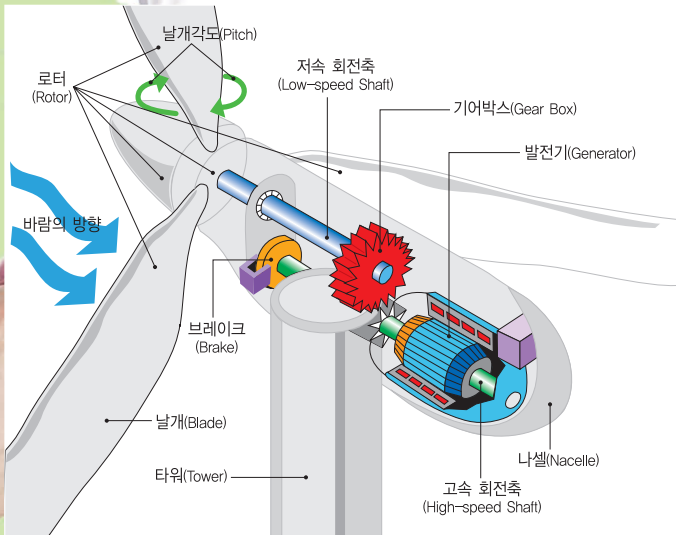


〈수평형〉



〈수직형〉

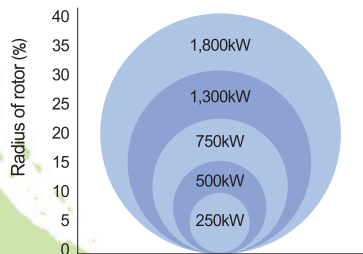
8. 풍력발전기의 구조



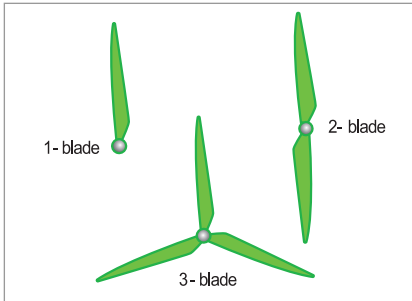
● 로터(Rotor)

로터는 바람이 가진 에너지를 회전력으로 변환시켜주는 장치이며 풍력발전기의 성능에 큰 영향을 미친다. 효과적인 풍력발전을 위해서는 이러한 로터의 설계가 매우 중요하며 특히 각 날개(Blade)의 설계가 아주 중요한 요소로 작용한다.

- 블레이드 길이가 10% 증가시 출력은 21% 증가
- 블레이드 길이가 길어질수록 효율 증가



• 날개 수에 따른 구분



내 용	블레이드별 구분
익단손실	1-blade > 2-blade > 3-blade
비용 및 중량	3-blade > 2-blade > 1-blade
회전속도	1-blade > 2-blade > 3-blade
주기적인 부하	1-blade > 2-blade > 3-blade
소음	1-blade > 2-blade > 3-blade

■ 1-blade의 특징

- 소음/외관상의 문제 발생
- 큰 요잉 모멘트 작용
- 불규칙한 토크 발생

■ 2-blade의 특징

- 티터링 블레이드라고도 함
- 티터링 모션 큼
- 소음/외관상의 문제 발생

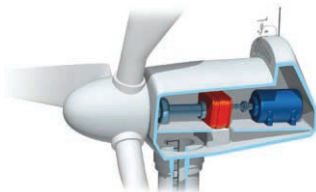
■ 3-blade의 특징

- 덴마크형 블레이드라고도 함
- 대부분의 대형 풍력발전에 채택
- 현재 가장 안정적인 시스템

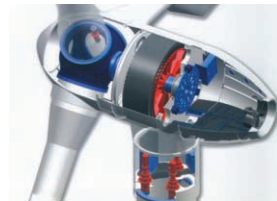
● 나셀(Nacelle)

풍력발전기의 심장부에 해당되는 부분으로 로터에 의해 얻어진 회전력을 전기에너지로 변환시키기 위한 모든 장치들로 구성된다.

이를 위해 기어박스, 발전기, 제어장치 등 거의 대부분의 장치들이 나셀 내부에 포함되어 있다. 이러한 나셀의 형태는 발전기의 종류에 따라 크게 두가지로 나뉘게 되는데, 간접구동형(Geared Type) 과 직접구동형(Gearless Type)에 따라 형태상으로는 구조적으로 매우 큰 차이를 띄게 된다.



간접구동형(기어형)

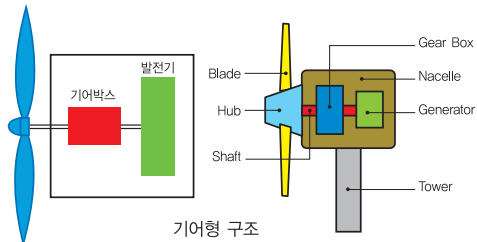


직접구동형(기어리스형)

〈나셀의 구분〉

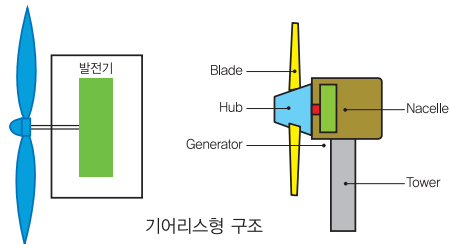
- 간접구동형(Geared type)

이 시스템은 높은 회전수(1,800rpm)를 가진 유도 발전기와 낮은 회전수인 로터 사이를 기어로 연결하여 발전하는 시스템으로 발전기의 경제성이 우수하고, 정속 회전으로 인한 품질 좋은 전기를 생산한다는 장점이 있다. 그러므로 대부분의 상용 풍력발전기에 많이 적용되는 형태라 할 수 있다.



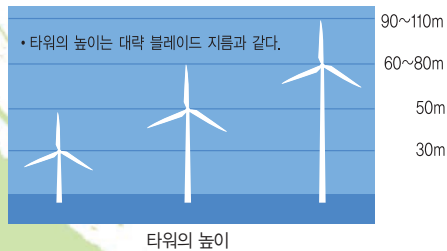
- 직접구동형(Gearless type)

이 시스템은 증속기 없이 로터에서 동력이 직접 발전기와 연결되는 시스템으로 증속기의 제거로 인한 제작비용 절감효과가 있으나 발전기 자체가 크고 고가인 단점이 있다. 하지만 증속기 손실 배제로 인한 효율이 증가하게 되며, 나셀부의 총 중량이 감소되는 장점이 있다.



● 타워(Tower)

풍력발전기를 지탱해 주는 구조물로 수평축 풍력발전기(HAWT)의 경우 나셀과 로터부를 지상에서부터 일정한 높이에 위치시켜 지탱해 주는 역할을 하는 구조물이며, 수직축 풍력발전기(VAWT)의 경우에는 회전축의 역할까지 담당하는 구조물이다. 대형 구조물의 경우 내부에 엘리베이터 시스템 등 여러 가지 유지 보수를 위한 장치들이 장착되기도 한다.



타워 제작 및 건설 비용은 10m당 약 1억원의 비용이 드는 것으로 알려져 있으며, 고도별·지역별 바람 특성에 따라서 타워의 최적 높이가 달라지게 된다. 지형의 형상이나 풍향에 따라 바람의 거칠기가 커지게 되면 타워도 높아져야 하는 특징이 있다.

또한 타워의 총 비용과 풍속의 이익과의 관계를 고려하여 높이를 결정하게 되며, 일반적으로는 로터 블레이드의 지름 정도의 높이에 로터 회전축을 위치시키는 형태가 많이 사용되고 있다.

9. 풍력에너지의 이용 전망

풍력에너지는 부존량이 무한한 대체에너지원으로서 지구 환경보존과 더불어 안정적이고 경제적인 에너지원의 확보라는 두 가지 목표를 동시에 이루기 위해 앞으로도 이용이 지속적으로 증가될 전망이다. 또한 풍력에너지의 개발은 제한된 토지 및 에너지 자원이라는 기존의 제약 환경을 벗어나는 방향으로 나아갈 것이다.

그러나 에너지 밀도가 낮고, 풍력이 기상조건에 의해 시간적으로 변하며, 현재로서는 원가가 높다는 단점이 있다. 이러한 단점 중 가장 큰 문제점은 원가가 높다는 것이다. 이를 해결하기 위해서 풍력 시스템이 점차 대형화 되어가고 있으며, 대량생산 및 운영을 통한 원가절감을 위해 덴마크, 네덜란드, 독일 및 영국 등은 해안에서 수 km 떨어진 수심 5~20m의 바다 위에 풍력발전단지(wind farm)를 조성하는 추세에 있다. 풍력에너지의 개발은 앞으로도 더욱 가속적으로 이루어질 것으로 전망되며, 우리나라 또한 국제적인 추세에 맞추어 풍력에너지 이용 규모가 계속 늘어날 전망이다.

〈대형 풍력발전기의 이용 분야〉

- 전력회사의 계통으로 연결되어 각 가정에 공급
- 육상풍력발전단지
- 해양풍력발전단지

〈소형 풍력발전기의 이용 분야〉

- 태양전지와 융합한 가로등
- 오지, 낙도 등의 무인 감시, 관측소의 전원
- 산간대피소의 조명이나 전원
- 신재생 에너지 계몽용 교육자료
- 캠프의 전원

신재생에너지란 무엇일까요?

에너지 중에는 쓰면 없어지는 것이 있고, 없어지지 않고 계속해서 쓸 수 있는 것이 있습니다. 현재 우리나라의 국가성장전략인 녹색성장과 더불어 세계 각국은 지구환경문제 해결을 위한 대책으로 신재생에너지에 대한 연구와 관심을 기울이고 있는데, 쓰면 없어지는 것은 석유나 가스, 석탄 같은 화석에너지이고, 써도 없어지지 않고 계속 생겨나는 것은 태양이나 풍력 에너지와 같은 재생 가능한 에너지입니다. 이러한 재생 가능한 에너지는 점차 사라져 갈 화석 에너지를 대신할 수 있을 뿐만 아니라, 인류 문명의 지속적인 발전을 위한 중요한 밑거름이 될 것입니다.

신재생에너지란 “기존의 화석 연료를 변환시켜 이용하거나, 햇빛, 물, 지열, 생물유기체 등을 포함하여 재생 가능한 에너지를 변환시켜 이용하는 에너지”라고 정의하며, 재생에너지와 신에너지로 나누어 11개 분야로 구분합니다. - 에너지관리공단 -

- 재생에너지 ⇨ 태양광, 태양열, 바이오, 풍력, 수력, 해양, 폐기물, 지열 (8개 분야)
- 신에너지 ⇨ 연료전지, 석탄액화가스, 수소에너지 (3개 분야)

1. 태양광 에너지

태양에너지는 크게 빛 에너지와 태양열 에너지로 나뉘는데 그 중 태양에너지를 이용하여 전기에너지를 생산할 수 있습니다. (태양전지)



〈태양전지〉

2. 태양열 에너지

태양열 에너지는 집열판 등을 이용하여 태양에서 나오는 열에너지를 흡수, 저장, 열교환 등을 통하여 물을 데워 온수를 이용하고 건물의 냉난방에 활용하는 기술입니다. (태양열온수기)

태양광 발전과는 개념이 전혀 다른데 혼동하는 경우가 많이 있으니 유의하시기 바랍니다.



〈스텔링엔진〉

3. 풍력 에너지

풍력 발전기는 바람이 지닌 에너지를 변환하여 전기를 얻는 장치입니다. 지구 전역에서 불어대는 바람이 지닌 에너지의 일부 만을 전기로 바꾸어도 전 세계 모든 사람에게 필요한 전기를 공급할 수 있는데, 지금 인류는 그 중 아주 일부 만을 이용하고 있습니다.

풍력발전은 바람이 가진 운동 에너지를 전기 에너지로 바꾸는 시스템입니다. 바람이 풍차의 날래를 돌려 여기에 연결된 발전기를 돌려주어 전기를 생산합니다.

이렇게 발전된 전기를 자체적으로 사용하거나 전력회사로 역송전시켜 전기를 판매할 수도 있습니다. 우리나라는 해안선이 길어서 풍력발전을 하기에 유리한 조건을 가지고 있습니다.



〈풍력발전기〉

4. 수소연료전지



〈수소연료전지자동차와 수소연료전지〉

연료 전지는 수소와 산소를 반응시켜서 전기와 열을 만들어 내는 장치입니다. 연료전지는 한번 사용하고 버리는 일반 화학전지와는 달리, 수소가 공급되면 계속해서 전기와 열을 생산할 수 있는 반영구적인 장치입니다. 반응 중에 발생된 열을 이용해 오수를 생산하여 급탕 및 난방으로 이용이 가능합니다.

5. 바이오 에너지

생물자원은 흔히 바이오매스라고도 합니다. 바이오매스는 나무, 곡물, 풀, 농작물 찌꺼기, 가축의 배설물, 음식 쓰레기 등 생물로부터 나온 유기물을 말합니다. 이것들은 모두 직접 혹은 가공을 거쳐서 알코올이나 도시가스과 비슷한 메탄가스, 수소가스, 그리고 전기로 바꾸어 사용할 수 있습니다. 이렇게 만들어진 알코올이나 가스 혹은 왕겨탄 같은 연료들을 바이오 에너지라고 합니다.



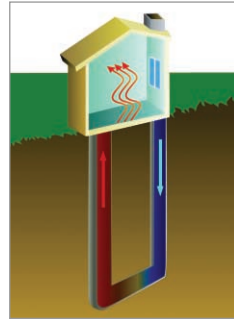
〈바이오연료〉

6. 폐기물 에너지

폐기물 에너지란 소각이나 매립하는 방법 외에 처리가 쉽지 않은 합성 고분자 화합물인 혼합페플라 스틱과 폐유 등을 재활용하는 방식입니다.

7. 지열 에너지

지구의 땅 속 깊은 곳에서는 끊임없이 열이 생성되어 중심으로 들어 갈수록 온도가 높아집니다. 뜨거운 마그마는 종종 지각이 얇은 곳에서 화산이나 뜨거운 노천 온천의 형태로 열을 분출하는데, 지표면 가까이는 계절에 따른 온도 변화가 없이 10℃ 내외의 일정한 온도를 유지합니다. 이러한 땅속의 에너지를 지열이라 하고, 이를 이용하여 전기를 얻는 방식을 지열발전이라 합니다. 땅속의 에너지를 꺼내어 건물의 냉난방 시스템에 이용하기도 합니다.



〈지열발전〉

8. 수력 에너지

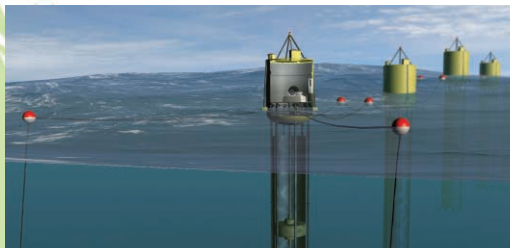
흐르는 물이나 높은 곳에서 떨어지는 물은 에너지를 담고 있습니다. 수력발전은 물의 낙차를 이용하여 발전기에 연결되어 있는 날개를 돌려 전기를 생산하는 시스템입니다.

9. 해양에너지

바다에서도 적절한 기술을 적용하면 에너지를 얻을 수 있습니다. 현재 이용되고 있는 것은 간만의 차이를 이용한 조력발전과 파도의 힘을 이용한 파력발전 등이 있습니다.



〈수력발전소〉



〈해양에너지발전소〉

수식으로 알아보는 발전기의 원리

● 패러데이 유도법칙 (Faraday's law of induction)

닫혀있는 회로에서의 유도 기전력은 그 회로를 통과하는 자기선속의 시간적 변화율의 음수와 같다. 패러데이의 법칙을 수식화하면 다음과 같다.

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (\text{패러데이 유도법칙}) \quad \Phi_B = BA$$

(Φ_B : 자기선속, B : 자기장, A : 자기장이 지나는 면적, t : 시간)

● 플레밍의 법칙 (Fleming's law)

균일한 자기장 B 가 수직으로 들어가는 수평면에 저항 R 이 연결된 도선에 도체 막대를 올려놓고 이 막대를 속력 ν 로 이동시키고 있는 동안에는 유도기전력이 발생하여 유도전류가 반시계방향으로 흐르게 된다. 왜냐하면 닫힌회로의 넓이가 커졌기 때문에 닫힌회로를 지나가는 자속이 증가하였으므로 반대방향의 자속을 만들기 위해 유도전류가 반시계방향으로 발생하게 된다. 유도기전력을 패러데이 법칙으로부터 유도해보면 다음과 같다.

$$\varepsilon = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = Bl\nu \quad (\text{플레밍의 법칙})$$

● 발전기

양쪽 자석이 만드는 균일한 자기장 속에서 수직 방향으로 도선이 움직일 때 도선 속의 자유전자도 자기력의 힘을 받아 이동하게 된다.

$$F = e\nu B \quad (\text{자기력}) \quad (e: \text{전하량}, \nu: \text{속력}, B: \text{자기장의 세기})$$

전자가 자기력과 같은 크기의 전기력($F = eE$)을 받아 이동한다고 생각하고 전기장 E 를 구하면 다음과 같다.

$$eE = e\nu B \quad E = B\nu$$

따라서 전위차는

$V = Ed = B\nu d$ 로 되면서 기전력이 발생된다. 곧 균일한 자기장 속의 운동하는 도선에서 기전력이 발생하여 발전이 이루어지는데 이것이 발전기의 원리이다.

www.minisolar.co.kr

MiniSOLAR 미니솔라(주)
경기도 고양시 일산동구 장항동 757
경기벤처빌딩 501호
TEL. 031-906-7500
FAX. 031-906-7502

