ISBN 978-89-5884-872-1 93500

유기태양전지

2006. 12

KiSTi www.kisti.re.kr
한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information

목차

제 1 장 서론

제 2장 기술동향분석

제 1 절 기술의 개요 ——————————————————

1. 태양전지의 정의 및 분류 ----------

2 유기 태양전지의 종류——————————————

가. 염료감응형 ——————————————————

나. 유기분자형 ——————————————————

3. 태양전지의 특성평가----------

제 2 절 유기태양전지의 광전자 거동 ——————————————

제 3 절 염료감응 태양전지 소재 개발 동향 ----------

1. 염료 ----------

2. n-형 산화물----------

3. 산화-환원 전해질----------

4. 홀 전도체 ——————————————————

5. 금속 대전극----------

6. 전도성 기판----------

제 3 장 문헌 특허 정보분석 ----------

제 4 장 염료감응 태양전지 산업 시장 분석----------

1. 태양전지 시장동향 ----------

2. 염료감응 태양전지 산업동향 및 시장전망 ----------

제 5 장 결론 ——————————————————

참고문헌 ——————————————————

제 1 장 서론

태양전지는 빛에너지를 전기에너지로 전환하는 발전소자로서 미래 신재생 에너지원이다. 우리는 지금까지 석유를 주 에너지원으로 사용하고 있다. 석유가 주 에너지원이 된 이유는 값싸고 사용하기 편리하기 때문이라고 생각된다. 하지만 석유는 더 이상 값싼 에너지원이 될 수 없을 것이라는 전망이 나오고 있다. 배럴당 30불 정도의 원유가는 2004년을 마지막으로 증가하기 시작하여 최근에는 70불 수준으로 상승하였으며, 앞으로 계속 오를 전망이다. 유가 상승의 원인 중의 하나로 석유의 매장량 한계를 들 수 있다. 석유는 10-20년 안에 지금의 생산량이 지속적으로 감소하여 향후 50년 이내에 고갈의 위기에 있다. 따라서 배럴당 200불 수준도 가까운 장래에 현실화 될 수 있다. 유가 상승의 문제와 함께 석유, 석탄과 같은 화석연료는 연소할 때 이산화탄소와 아황산가스와 같은 대기오염 물질을 배출하여 환경을 오염시킬 수 있다. 특히 이산화탄소는 대기 중에 축적될 경우 온실효과에 의한 지구온난화를 초래하여 평균 온도 상승, 해수면의 상승 등 자연 재앙을 야기하여 인류 미래에 심각한 문제를 일으킬 수 있다. 지구온난화의 주범인 이산화탄소 배출을 규제하기 위하여 1997년 12월 교토의정서를 채택하게 되었으며, 2005년 2월 16일 교토의정서가 정식으로 발효되어 이산화탄소 감축 프로그램이 작동하고 있다. 우리나라는 2013년부터 이산화탄소 규제 대상국에 포함된다. 식물의 광합성 작용은 이산화탄소를 자연적으로 제어할 수 있는 방법 중의 하나이지만, 현재수준의 방대한 이산화탄소 배출량을 조절하기는 어렵다. 따라서 화석연료 사용을 줄여서 이산화탄소 배출량을 감소시켜야 하며, 태양에너지, 풍력, 수력과 같은 재생 가능한 에너지원 (renewable energy sources)으로 대체하는 노력을 기울여야 한다.

노벨화학상 수상자인 미국 라이스 대학의 Smalley 교수는 현재 우리가 사용하는 에너지의 대부분은 석유와 석탄 그리고 천연가스 등에 의존하고 있지만 2050년에는 약 30에서 60 테라와트 규모의 에너지 중 절반 이상이 태양광, 풍력, 지열 등과 같은 신재생 에너지로 대체될 것이라고 예측하였다. 미래 인류가 해결해야 하는 첫 번째 과제인 에너지 문제를 심각하게 받아들이고 다가올 미래의 수십 테라와트 규모의 에너지를 공급할 수 있는 방법으로서 태양전지와 같은 효율적인 대체에너지 기술개발이 절실히 필요하다.

태양전지 (photovoltaic cell 또는 solar cell)는 광기전 효과 (photovoltaic effect)에 의해 태양빛을 전기로 직접 변환시키는 전기 발생 장치이다. Photovoltaic의 “photo”는 빛을 의미하는 그리스어 “phos”로부터 유래

되었으며, “volt”는 볼타전지를 발명한 전기연구의 개척자 Alessandro Volta의 이름을 따온 것이다. 따라서 “photo-voltaic”이란 “light-electricity”를 의미하게 된다. 이미 우리 생활의 중요한 한 부분을 차지하고 있는 태양전지는 간단하게는 시계, 계산기 등의 전원으로 이용되며 크게는 위성통신과 같은 항공우주 분야와 대규모 전기발전소에 사용된다. 태양전지는 환경오염을 유발하지 않기 때문에 청정 재생 에너지원으로 분류되며, 물질의 종류에 따라 무기 태양전지와 유기 태양전지로 구분될 수 있다.

본 보고서에서는 유기태양전지의 원리, 최신 연구개발 동향 및 산업전망을 소개하고자 한다. 특히 최근 산-학-연의 관심이 모아지고 있는 염료감응형 태양전지의 기술개발 동향을 중점적으로 소개하고자 한다.

제 2 장 기술동향분석

제 1 절 기술의 개요

1. 태양전지의 정의 및 분류

태양전지는 광전기효과 (photovoltaic effect)에 의하여 태양 빛 또는 인공 빛을 전기로 변환시키는 반도체 소자이다. 참고로 태양전지에 대한 백과사전의 해석은 다음과 같다.

(1) 인터넷 위키페디아 백과사전의 정의: 태양전지는 광자 (photon)를 전기로 변환시키는 반도체 소자이다. 종종 태양전지는 태양광 뿐만 아니라 인공광도 변환시킬 수 있다. 태양전지는 두가지 중요한 기능에 의해 작동되는데, 빛을 흡수하는 물질의 광전하 (전자와 홀) 발생과 분리에 의해 이루어진다. 이와 같은 변환과정을 광전기 효과라고 부르며, 태양전지에 관련된 분야를 연구하는 영역을 광전기학 (photovoltaics) 라고 한다. (By Wikipedia the Free Encyclopedia (http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell): A solar cell (or photovoltaic cell) is a semiconductor device that converts photons into electricity. Often, despite the term, solar cells can convert not only light from the sun but also light from artificial sources (such as light bulbs). Fundamentally, the device needs to fulfill only two functions: photogeneration of charge carriers (electrons and holes) in a light-absorbing material, and separation of the charge carriers to a conductive contact that will transmit the electricity. This conversion is called the photovoltaic effect, and the field of research related to solar cells is known as photovoltaics.)

(2) 맥그로힐 과학기술 백과사전의 정의: 포토볼타익 셀 (photovoltaic cell)은 전자기파의 흡수에 의해 전류나 전압 또는 전류-전압 발생에 따른 전가지파를 감지하거나 측정하는 소자이다. 특별하게 제작된 포토볼타익 셀은 전력생산이나 전자기파의 감지, 광통신, 분광학, 등에 사용된다. 포토볼타익 셀의 특징은 외부의 전류 또는 전압의 바이어스가 필요하지 않으며, 단지 빛의 흡수에 의해 전압이나 전류를 발생하는 디바이스이다.

(By Science and Technology Encyclopedia, Mc Graw Hill Dictionary (http://www.mcgraw-hill.com/): A device that detects or measures electromagnetic radiation by generating a current or a voltage, or both, upon absorption of radiant energy. Specially designed photovoltaic cells are used for power generation, as in solar batteries or solar cells, and for sensitive detection of electromagnetic radiation in radiometry, optical communications, spectroscopy, and other applications. An important advantage of the photovoltaic cell in these particular applications is that no separate bias supply is needed—the device generates a signal (voltage or current) simply by the absorption of radiation.)

따라서 태양전지를 알기 쉽게 설명하면 <그림 1>에서와 같이 물질이 빛을 흡수하여 광전자를 발생하고, 발생된 광전자는 외부도선을 따라 일을 하고 다시 물질로 돌아가 빛에 의해 광전자를 발생하는 작동을 계속하는 디바이스이다. 마치 볼링을 할 때 볼링 공 (광전자에 비유)이 사람의 손을 떠난 후 핀을 쓰러뜨린 후 (일을 함) 다시 사람에게 돌아가는 (광전자 발생 후 생긴 홀을 채움) 과정과 유사하다.

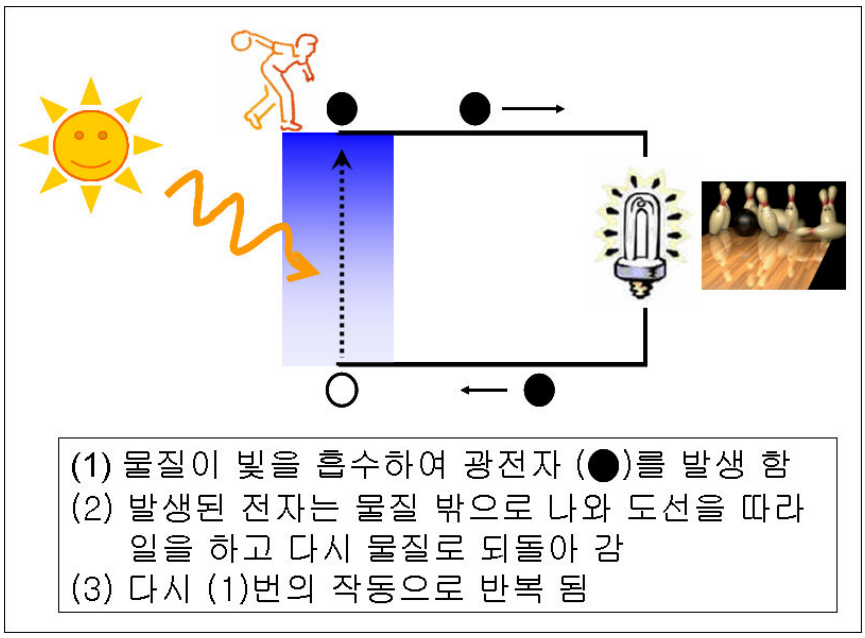


그림 2 태양전지의 작동 원리

태양전지는 구성하는 물질에 따라 실리콘, 화합물반도체와 같은 무기소재로 이루어진 태양전지, 나노결정 산화물 입자 표면에 염료가 흡착된

염료감응형 태양전지 (dye-sensitized solar cell), 그리고 유기분자 (donor-acceptor)로 이루어진 태양전지로 나눌 수 있다. 또한 태양전지의 셀 구조에 따라서는 반도체 pn 접합형 과 반도체/액체 광전기화학형 (photoelectrochemical) 태양전지로 나눌 수 있다. 염료감응형 태양전지는 광전기화학형에 속하며, 유기분자형은 pn 접합형과 유사하다 (<그림 2> 참조).

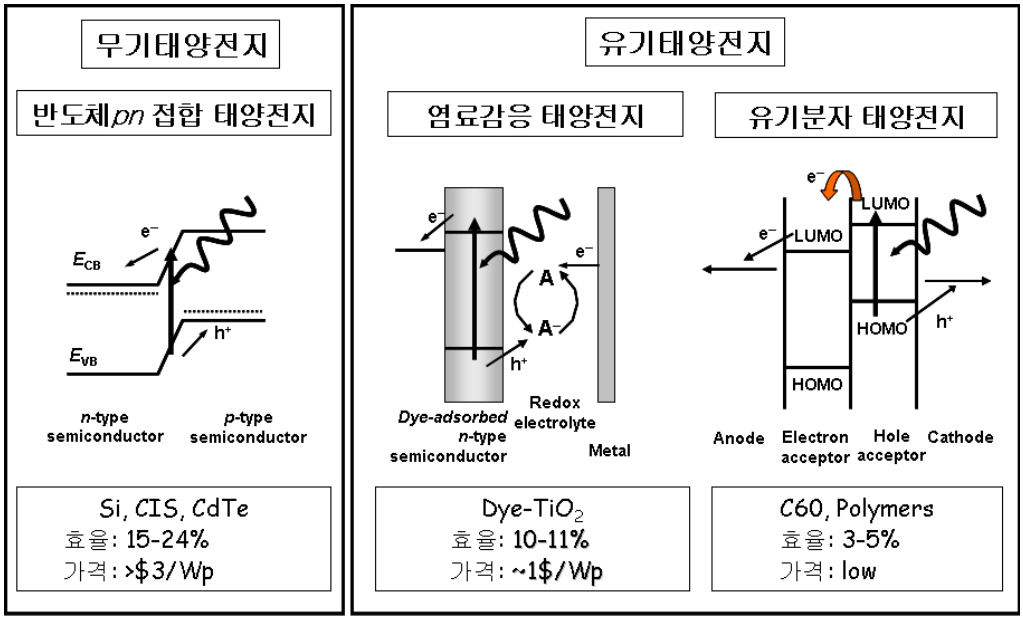


그림 3 태양전지의 분류

2. 유기 태양전지 (Organic Solar Cells)

가. 염료감응형 (Dye-Sensitized Type)

반도체 접합 태양전지와는 달리 광합성 원리를 이용한 고효율의 광전기화학적 태양전지가 최근 소개되었다. 1991년 스위스 Grätzel 그룹에서 보고한 염료감응 나노입자 산화물 광전기화학 태양전지 [1] 는 에너지 변환 효율이 비정질 실리콘 태양전지에 버금가는 높은 에너지 변환 효율과 함께 매우 저렴한 제조단가 (기존 실리콘 태양전지 가격의 약 1/4) 로 인하여 연구계 및 산업계의 비상한 관심을 모으고 있다.

<그림 3>은 염료감응 태양전지의 작동 원리 및 셀 구조를 보여주고 있다. 표면에 염료 분자가 화학적으로 흡착된 n-형 나노입자 반도체 산화물 전극에 태양 빛 (가시광선)이 흡수되면 염료분자는 전자-홀 쌍을 생성하며, 전자는

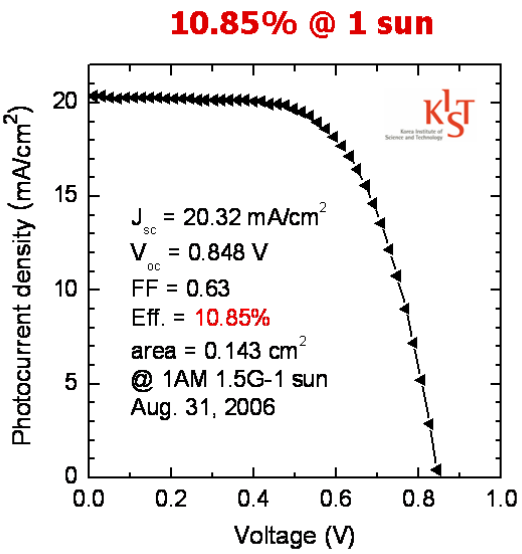
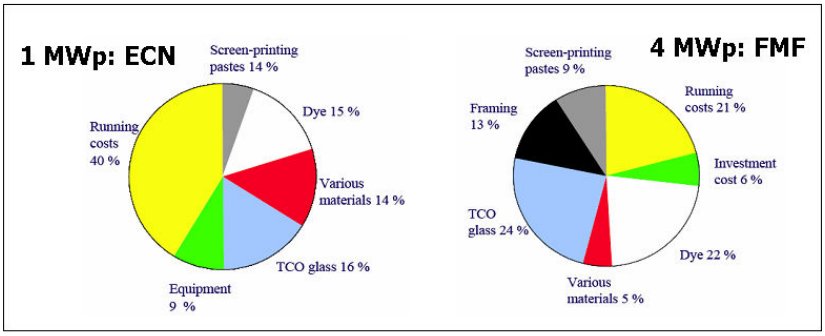


그림 53 표준조건에서 측정한 KIST 제조 염료감응 태양전지 단위전지 효율

그림 54 KIST 제작 투명 컬러 염료감응 태양전지 윈도우 (오른 쪽 그림은 태양전지를 통해 본 바깥 풍경)

염료감응 태양전지는 기존 실리콘 태양전지에 비해 약 4분의 1에서 5분의 1 가격으로 매우 저렴하기 때문에 가격 경쟁력 있는 기술제품이다. 유럽의 연구기관과 대학 등에서 연 생산 규모가 1 메가와트 또는 4 메가와트 경우 단위 m^2 당 약 120-150 유로 정도 할 것으로 예측하고 있으며, 더욱 값싼 소재를 개발할 경우 현재 예측 가격보다 40% 정도 더 저렴하게 제조 가능한 것으로 보고되었다. (<그림 54> 참조)

염료감응 태양전지 가격분석



120 – 150 € /m² (현재 사용중인 소재 기반)
70 – 90 € /m² (새로운 소재 개발 시, 40% 가격절감)

출처: ECN-Report: C-05-078 (2005)

그림 55 염료감응 태양전지 가격분석

염료감응 태양전지는 2006년 현재 시장에 상품으로 출하 되지 않았지만, 후지키메라 조사에 따르면 빠르면 2007년경 일본 시장에 등장 할 수 있다고 예측하였다. 특히 이 보고서에 따라면 2015년 에는 2조 6백억원 규모의 염료감응 태양전지 시장이 형성 될 것으로 기대하고 있다(표 4참조).

<표 4> 염료감응 태양전지 시장전망

*** 염료감응 태양전지 세계 시장 전망 ['06년 후지키메라 보고서]**

	2007년	2010년	2015년
염료감응 태양전지 세계시장	25억원 [주로 일본시장]	1,760억원	2조 6백억원

제 5 장 결론

우리가 살고 있는 지구는 현재 지금까지 인류가 뿜어낸 이산화탄소로 인해 지구온난화에 시달리고 있다. 지구온난화 즉 화석연료 사용에 따른 기후변화는 화석연료 가격의 상승보다 더 심각한 문제이다. 화석연료 사용의 규제, 고유가 등 전세계는 새로운 대체에너지 확보를 위해 노력하고 있다. 이러한 시점에 신재생 에너지 개발과 확보는 국가의 경제적 부와 사회적 안정을 함께 가져올 수도 있다. 태양전지와 관련하여, 태양에너지로부터 단위면적 당 생성할 수 있는 전력량이 일본은 평균 3.5 - 4 kWh/m^2으로 한국의 4 - 4.5 kWh/m^2 보다 낮지만, 정부 주도하에 태양전지 연구 개발을 꾸준하게 해 오고 있다. 일본은 2004년 및 2005년에는 전 세계 태양전지 시장의 50% 이상을 점유하고 있으며, 계속되는 시장규모의 확대로 인하여 태양전지 관련 기업들은 이익을 창출하고 있다. 유럽의 대부분 국가들도 한국의 경우보다 예상 발전량이 더 좋지는 않다. 그럼에도 불구하고 일본, 유럽, 미국 등은 정부 주도하에 태양전지 개발 프로그램을 활발히 진행하고 있다. 실리콘 등 무기물계 태양전지 기술에서 앞서 있는 일본은 2030년까지 기술 로드맵을 발표하고 태양광 발전 단가를 일반 전기요금 (원자력 또는 수력 발전에 의한 전기) 수준까지 내리겠다는 계획을 세우고 있다 (<그림 56> 참조). 하지만 발전단가를 대폭 내릴 수 있는 방법은 값싸고 효율 높은 태양전지를 개발할 경우 가능하다.

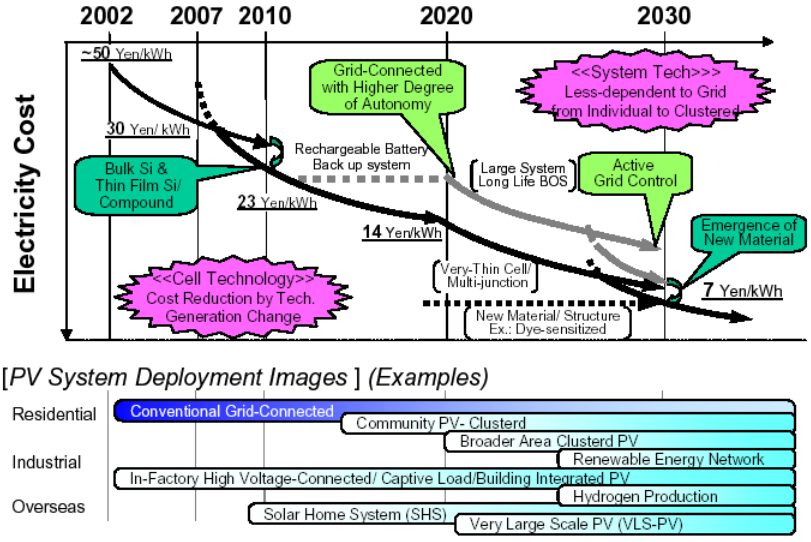


그림 57 일본의 태양광발전 로드맵 (NEDO, 2004)