

# 염료감응 태양전지 이해와 상용화 과제

이경주 책임연구원 (티모테크놀로지 그린에너지사업부)

## 1. 서론

현재 우리가 살고 있는 지구에서는 다양한 종류의 에너지가 사용이 되고 있다. 더구나, 여러 종류의 에너지원 중에서, 전기에너지가 차지하는 비중이 2000년도에 이미 15%를 넘어서고 있는 실정이다 [1]. 향후에는 대략 40% 이상의 에너지가 전기에너지의 형태로 사용이 될 것으로 예상되고 있다.

그럼, 전기에너지는 어디에서 얻어질까? 거의 대부분의 전기 에너지는 화석 연료를 사용한 화력 발전에 의해서 얻어지고 있다. 그러나 최근에 와서 전 지구가 당면한 문제인 지구온난화 (Global Warming)의 주요 원인으로 이산화탄소 (CO<sub>2</sub>) 배출

이 지목되고 있다.

그림 1에서 볼 수 있듯이, 이산화탄소 배출량과 지구온난화 정도는 아주 밀접한 관계가 있다.

지구온난화로 대변되는 전 지구적 환경의 위기 상황과 근래의 에너지 부족현상은 화석에너지의 고갈로 말미암은 것으로, 전 지구가 당면한 과제이다. 지난 2009년 말, 덴마크의 수도 코펜하겐에서 열린 기후변화협약 당사국총회는 지구 기후의 심각한 위기 상황을 보여주는 또 하나의 증거라고 할 수 있다.

이런 변화에 따라, 전 세계적으로 태양광, 풍력, 조력, 소수력 등 신재생 에너지 개발의 중요성이 점점 커지게 되고 있다. 2007년부터 그린에너지 기술에 대한 글로벌 투자는 점차 확대되고 있으며, 풍력→태양광→바이오 연료의 순으로 투자가 확대되어 가

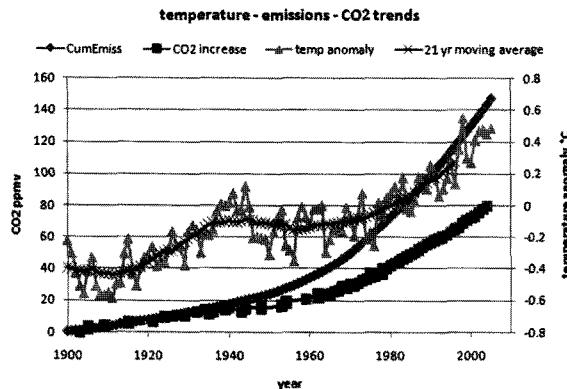


그림 1. 이산화탄소배출과 지구온도 상관관계 [2].

고 있다 [3].

또한, 관련 기술의 R&D, 설치 및 보급 사업 등을 통한 지원을 대폭 확대 함에 따라 차세대 성장 동력이 될 수 있는 핵심 산업으로 부상할 것으로 예상되고 있다.

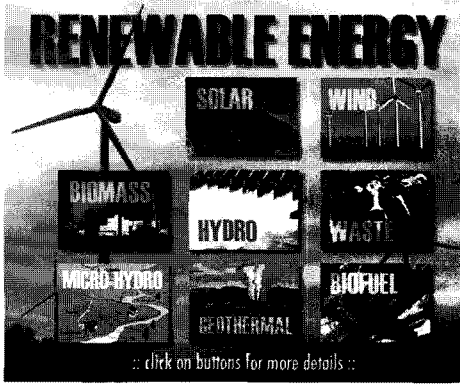


그림 2. 신재생 에너지의 종류.

이에 따라 태양광 산업의 Supply chain 내에서 각 사업 영역별로 여러 회사들이 활발히 양산을 위한 연구 개발을 진행하고 있다.

### 1.1 신재생 에너지의 필요성과 태양광의 중요성

신재생 에너지란, 신에너지와 재생 에너지를 통틀어 부르는 말로, 화석 연료나 핵분열을 이용한 에너지가 아닌 대체 에너지의 일부를 이른다. 즉, 새로운 물리적, 새로운 물질을 기반으로 하는 핵융합, 연료전지, 수소에너지 등을 의미하는 신에너지와 재생 가능한 에너지, 즉 동식물에서 추출 가능한 유지, 에탄올을 이용한 에너지부터 태양열, 태양광, 풍력, 조력, 지열 발전 등 재생 에너지를 통합한 의미이다 [4].

그 중 태양광 발전은 탄소 제로 발전 기술의 한 가지로 현재 가장 각광받고 있는 차세대 청정 에너지원이다.

또한, 반도체, 디스플레이 등의 IT 산업과의 연관

분류	회사명	사업명	용량
Poly-Si	동양제철화학	폴리실리콘	5,000 ton
	KCC	폴리실리콘	100 ton
	소더스신소재	모노실란	300 ton
	LG 화학, 삼성석유화학, 한화석유화학, SKC, 한국실리콘, 진흥 등		
Ingot/Wafer	웅진에너지	단결정 실리콘 잉곳	1,400 ton
	넥서	단결정 실리콘 잉곳	200 ton
	글로벌	다결정 실리콘 잉곳	65 ton
	넥솔론	단결정 실리콘 잉곳/웨이퍼	150 MW
	네오세미테크	단결정 실리콘 잉곳/웨이퍼	120 MW
	스마트에이스	단결정 실리콘 잉곳/웨이퍼	100 MW
	켄리폴도 나라테크	다결정 실리콘 잉곳/웨이퍼	50 MW
실트론	단결정 실리콘 웨이퍼	10 MW	
오성 LST, 업트론, 현대중공업, 솔믹스 등			
태양전지	KPE	단결정/다결정 태양전지	96 MW
	신성 ENG	단결정 태양전지	50 MW
	STX Solar	단결정 태양전지	50 MW
	현대중공업	단결정 태양전지	30 MW
	미리켓솔라	다결정 태양전지	30 MW
	한국철강	실리콘 박막 전지/모듈	20 MW
	LG전자, 삼성전자, 한화석유화학 등		
태양광	실포티에너지	단결정/다결정 실리콘 모듈	100 MW
	경동솔라	다결정 실리콘 모듈	80 MW
	에스에너지	단결정 실리콘 모듈	60 MW
	현대중공업	단결정 실리콘 모듈	30 MW
	유니슨	단결정/다결정 실리콘 모듈	13 MW
	LS전선	단결정 실리콘 모듈	10 MW
	태성솔라	단결정 실리콘 모듈	10 MW
	솔라테크	단결정/다결정 실리콘 모듈	10 MW
	ETA솔라	단결정 실리콘 모듈	3 MW
	맥스파워	PCS	90 MW
	윌빙스	PCS	55 MW
	다스텍	PCS	14 MW
	한양정공	PCS	2.5 MW
현대중공업, Dongmyung Electric Research 등			
이진광호	BIPV system		
코오롱 F&C	BIPV system		
LG화학	BIPV system		
경남알미늄	BIPV system		
파우	Tracking system		
대한전선	Concentrating & Tracking system		
효성, LG CNS, Sunlink, 실포티에너지, 에스에너지, 경동솔라 등			

그림 3. 국내 태양광 개발 업체 현황 [5].



하여 가장 기술 부합적이고 환경 지향적인 에너지로 각광받고 있다. 이런 태양광 발전은 다양한 태양 전지 기술에 의해서 이루어진다.

태양광 발전이란, 반도체가 갖는 광전효과(Photovoltaic Effect)를 이용하여 반도체 혹은 염료, 고분자 등의 물질로 이루어진 태양전지를 이용하여 태양의 빛 에너지를 전기에너지로 변화시키는 기술이다 [6].

### 1.2 태양전지의 세대별 분류와 활용분야

태양전지는 일반적으로 세대별로 분류한다. 즉, 실리콘 웨이퍼를 기반으로 한 1세대 태양전지, 값비싼 웨이퍼 비용을 절감하기 위하여 광흡수층을 얇게 하여 전극표면을 제조하는 2세대와 새로운 물질과 구조를 가지고 기존 광전변환 효율의 한계를 극복 가능한 3세대 기술로 나눌 수 있다. 각각의 태양전지는 재료와 구조적 특징에 따라서 구분이 가능한데, 현재 실리콘 태양전지 이후의 3세대 기술 중에서는

기술적 안정성과 시장진입이 용이한 비정질 실리콘, 제조비용이 가장 저렴하고 생산 공정이 단순한 CdTe, 변환효율 개선 잠재력으로 시장 선도가 가능성이 큰 CIGS/CIS, 그리고 경제적 장점이 있는 염료감응, 유기 태양전지 등이 시장에 진출하여 경합할 것으로 전망되고 있다.

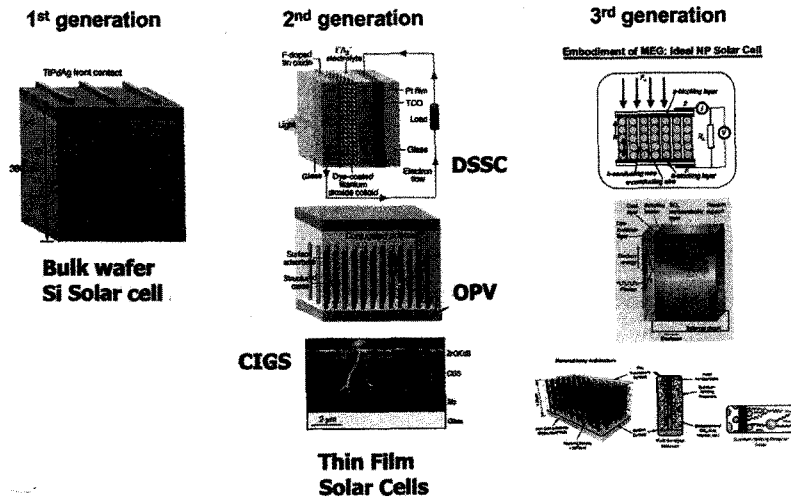


그림 4. 세대별 태양전지 구분 [7].

## 2. 염료감응 태양전지의 이해

차세대 태양전지의 하나로 “염료감응 태양전지”, Dye Sensitized Solar Cell(DSC 혹은 DSSC라고 명명)라 불린다. 식물의 광합성 원리를 응용하는 기술로 빛 에너지를 전기 에너지로 변환하여 전력을 발생시키는 무공해 청정 기술 [8]로서 현재 태양전지 시장의 대부분을 점유하고 있는 실리콘 태양전지가 지니고 있는 한계를 해결할 수 있는 유력한 대안으로 부상하고 있다. 또

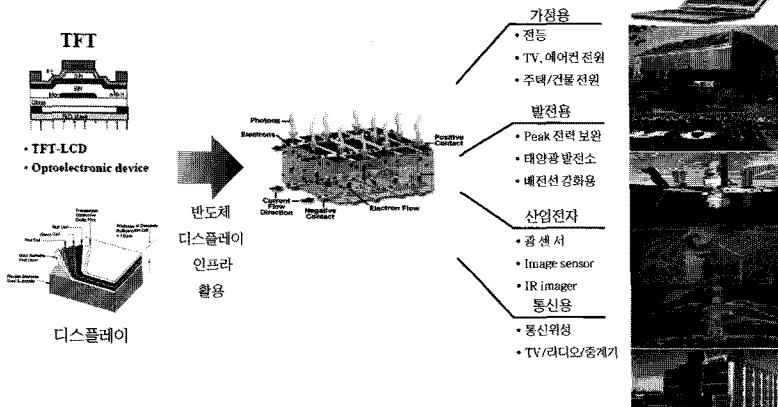


그림 5. 태양광 에너지의 활용 분야.

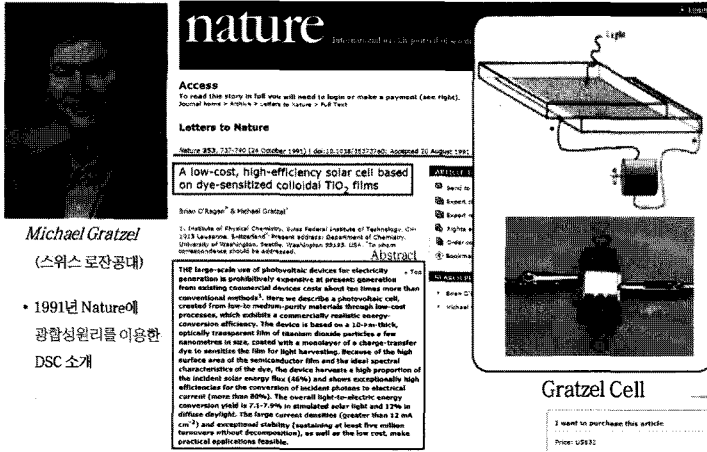


그림 6. 염료감응 태양전지 발명 [10].

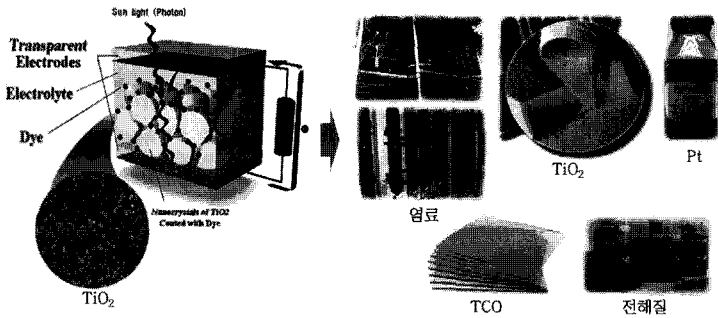


그림 7. 염료감응 태양전지 구조와 주요 구성 성분.

화학적으로 흡착된 나노 입자 반도체 산화물 전극에 태양빛이 흡수되면 염료분자는 전자를 내놓게 되는데 이 전자가 여러 경로를 통하여 투명 전도성 기판으로 전달되어 최종적으로 전류를 생성한다. 전기적 일을 마친 전자는 다시 염료분자의 본래 위치로 돌아와 태양전지를 순환하는 구조를 가지고 있다 [9].

DSC는 염료체의 구조를 주요 5가지의 화학성분으로 간단하게 구성하게 되는데, 주요 구성물은 다음과 같다. 나노결정 반도체 산화물인 TiO<sub>2</sub>, 광감응 염료, 전도성 전해질 및 백금 전극과 TCO 등의 다섯 가지 성분이다.

### 3. 염료감응 태양전지의 활용분야

차세대 태양전지 중에서도 가장 활발한 기술개발 정도를 보이고 있는 분야는 염료감응

한, 차세대 태양전지로서는 유일하게 한국산업기술 평가원 (KISTEP)이 선정한 “제10대 미래유망 기술”에 포함되어 향후 미래의 성장성을 인정받고 있는 기술이다.

#### 2.1 염료감응 태양전지 (DSC)의 발명

DSC는 1991년 스위스 로잔 공대의 그라첼 교수가 발명한 기술로, 식물이 광합성 작용을 통해 받은 태양에너지를 전자의 흐름으로 만들어내어 산화환원 작용의 에너지로 쓰는 것과 같은 원리를 가진다. 단지, 식물의 잎에서 광합성을 할 때 빛을 염록소라는 염료가 흡수하는 반면, 염료감응형 태양 전지는 나노 크기의 염료분자를 사용하며 일반적으로 TiO<sub>2</sub> (이산화타이타늄)를 많이 쓴다. 표면에 염료분자가

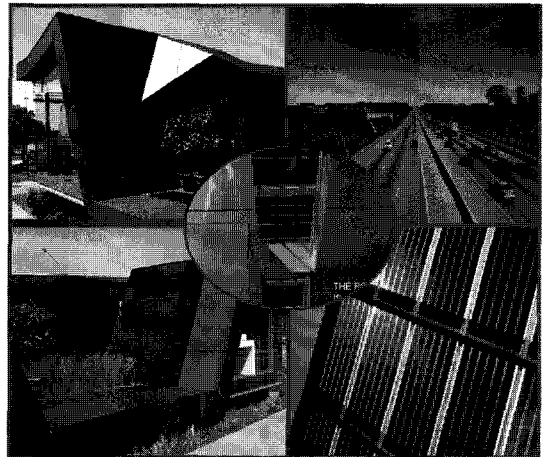


그림 8. 염료감응 태양전지 적용 BIPV [11].

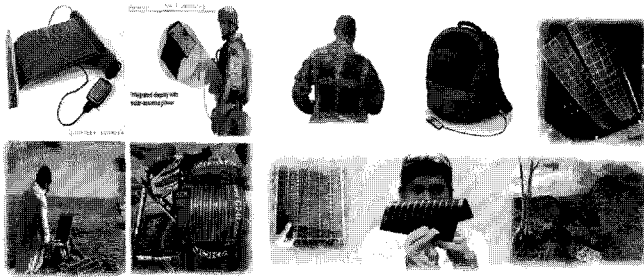


그림 9. 유연 염료감응 태양전지의 활용 분야.

태양전지로, 시장 진입 초기에는 휴대가 용이하고 경량인 플렉시블 (Flexible) 태양전지 개발을 통하여 기술의 상용화가 이루어질 것으로 예측하고 있다. 고효율 유연 태양전지는 일반 가정용 시스템에서 고용량 발전 시스템, 휴대용 전자 제품에까지 다양한 형태로 응용이 가능하다고 하는 특성을 바탕으로, 이동기기 보조 전원용, 의장성을 가지는 장식용, 유비쿼터스 정보기기 전원, 실내 소형가전 제품 전원 등 염료감응 태양전지의 장점인 약광에서 성능이 우수한 특성을 이용한 실내 소형가전 제품 등의 시장을 형성할 것으로 예상하고 있다.

또 하나의 큰 활용분야는 BIPV 분야로, 그림 8에서와 같이 건축물 내장형 태양광 발전 시스템에 적용되는 최적의 태양전지기술로 평가되고 있다.

#### 4. 염료감응 태양전지 기술 개발

염료감응 태양전지 기술 개발은 크게 세 가지 부분으로 나누어서 이루어진다.

- 첫째, 고효율 확보 기술
- 둘째, 안정성 확보 공정 기술
- 셋째, 표준화 기술

첫째, 현재, DSC의 효율은 11% 정도에 머무르고 있는 실정이다. 고효율 확보는 세 가지 측면에서 이루어져야 한다.

- (1) 광흡수율 개선 : 광흡수율이 좋은 넓은 파장대역을 가진 새로운 염료를 개발하는 것이다.
- (2) 광전변환 개선 : 염료와 결합하는 나노 산화물의 물성을 개선하여 화학적 결합이 용이하게 하여야 한다.

- (3) 전자 전달 개선 : 광전변환된 전자가 용이하게 외부 전극으로 나갈 수 있도록 전극 재료와 디자인을 효율적으로 개선하여야 한다.

또한, 다양한 형태의 제품에 사용하기 위해서는 태양전지 내부 구조 개선을 통한 입출력 사양을 변경할 수 있어야 한다.

즉, 디자인 개선을 통하여 사용하고자 하는 목적에 맞는 입출력 사양을 만족하도록 태양전지를 설계할 수 있다.

둘째, 염료감응 태양전지 기술 개발의 다른 큰 분

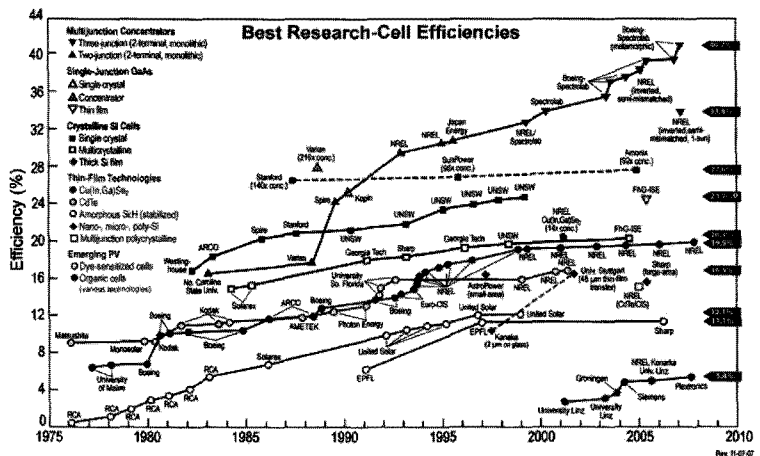


그림 10. 태양 전지별 효율 측정 [12].

야는 바로 안정성 확보를 위한 신규 재료 기술과 공정 기술분야이다.

염료감응 태양전지의 안정성을 개선하는 기술 개발은 아래의 두 부분으로 나눌 수 있다.

(1) Corrosion Protection : 모듈 내부의 전자 전달을 위한 Grid 전극 (Ag계열)은 전해질 (요

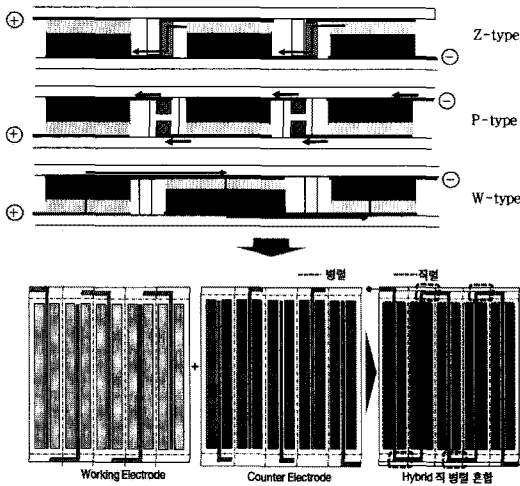


그림 11. DSC 모듈 디자인.

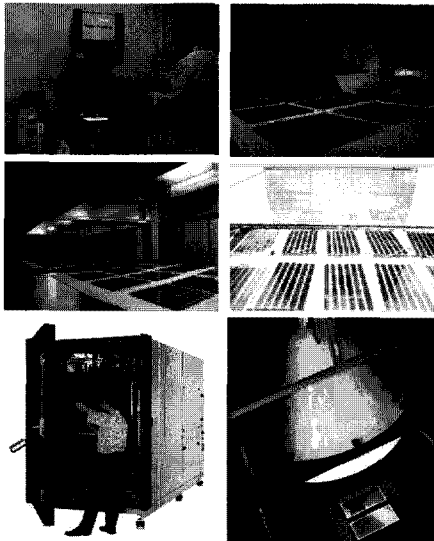


그림 12. 염료감응 태양전지 검증 장비.

오드계열)과 닿으면 녹는 특성을 가진다. 그렇기 때문에, 모듈의 장기 안정성을 위해서는 전해질로부터의 전극의 부식을 막아야 한다.

(2) Electrolyte Sealing : 모듈 외부의 수분과 내부의 전해질과의 반응을 제어하고 내부의 전해질이 외부로 누출이 되는 것을 막기 위하여, 실링을 하게 된다. 기존에는 Surlyn이나 Byln계열의 필름 형태의 실링 재료가 사용되었으나, 요즘은 Glass Frit계열의 소재들이 많이 사용되고 있다.

이러한 공정 기술은 크게 Glass 타입과 필름 형태의 Flexible 타입의 두 가지 공정으로 나누어지며, 다양한 종류의 내/외부 실링 재료를 이용하여 10년 이상의 장기 안정성을 확보하는 것을 목표로 하고 있다.

셋째, 모듈의 표준화와 관련된 기술이다.

기술 개발을 통하여, 생산된 제품의 효율 및 안정성 확인을 위하여 적절한 정도의 표준화 방법을 사용하여 검증을 하여야 한다.

현재까지 염료감응 태양전지는 표준화된 검증 방법이 부재한 상태이다. 다만, 박막 태양 전지용 표준인 IEC 61646(JIS C-8991)가 사용되고 있으나 염료감응 태양전지의 성능을 명확하게 확인해 주는 표준으로서 미흡한 부분이 많다.

## 5. 염료감응 태양전지 기술 개발 동향

염료감응 태양전지는 a-Si이나 CIGS 등의 박막 태양전지보다 많은 산업 부분과의 기술융합이 필요한 특성이 있어 화학, 신소재, 전기, 전자, 반도체 (디스플레이) 등의 관련 산업에 다양한 파급효과를 기대할 수 있다.

또한, 염료감응 태양전지는 그 물리적인 구조상 반투명한 특성을 활용하여 BIPV에 적용 가능한 최적의 태양전지 기술로 평가되고 있다. 따라서 향후 BIPV 시장의 확대에 따라 관련 건축설계, 시공, 발전



시스템 등과 연계되어 에너지 관련 산업과의 동반발전이 기대되고 있다.

염료감응 태양전지는 기반 물질의 구분에 따라 기술 개발 동향이 나뉘는데, 딱딱한 (Rigid) 기판을 사용한 유리/금속 기판 염료감응 태양전지와 유연한 (Flexible) 기판을 사용하는 염료감응 태양전지로 나뉠 수 있다.

생산 측면에서는 필름 형태의 Flexible 타입이 우수한 상황이지만, 현재까지 효율 측면에서는 유리 기판을 사용한 염료감응 태양전지가 보다 높은 효율을 기록하고 있다. 현재는 염료감응태양전지 기술의 단점인 성능 개선을 위하여 최근 여러 기관에서 연구를 진행 중에 있다.

### 5.1 국외 기술 개발 동향

- (1) 미국의 경우 주로 NREL, SNL 등과 같은 국립 연구소를 중심으로 기초 연구부터 제품 생산까지 다양하게 연구를 진행하고 있으며, Konarka, Dupont, GE 등에서 플라스틱 태양전지 모듈의 개발을 진행 중이다.
- (2) 유럽의 경우 독일의 프라운호퍼 태양에너지 시스템 연구소, Siemens, 네덜란드의 ECN, Shell Solar, 영국의 BP Solar, 스위스의 EPFL 등 대부분의 국가가 정부주도 하에 산·학·연으로 기초·응용·제품 연구를 수행하고

있다.

- (3) 호주는 Dyesol (구 STI)이 주도하고 있으며, Dyesol에서는 연간 0.5 MW 규모의 라인을 갖추고 호주정부 지원 아래 시범설치 단지를 조성하고 있다.
- (4) 아시아 지역에서는 최근 중국 과학원이 염료감응 태양전지 기술개발에 참여하고 있으며, 일본은 국립연구소 및 대학 (오사카대학교, 동북대학교 등 포함 50여 개 이상) 그뿐만 아니라 Kyocera, Sanyo, Sharp, Toshiba 등 대기업들이 기술 개발을 진행하고 있다.

### 5.2 국내 기술 개발 동향

- (1) 국내 염료감응 태양전지는 대학교 및 국립연구기관 중심의 원천기술개발에서 점차 산업체 중심의 모듈 상용화 기술개발로 전환 진행 중에 있다.
- (2) 이진 창호는 기존의 BIPV 사업을 기반으로 하여 염료감응 태양전지를 이용한 대면적 BIPV 용 패널개발을 위해 연구 개발 중이다.
- (3) 세아이엔티는 모듈 개발 및 신공법 공정 장비 개발을 진행 중이다.
- (4) 티모테크놀로지는 호주의 Dyesol과 DyesolTimo라는 조인트벤처를 설립하고 파일럿 라인 가동 진행에 있다.

- (5) 동진세미켄은 모듈사업화를 목표로 모듈요소기술 개발 및 고효율화를 위한 기술개발을 진행하고 있다.
- (6) 삼성 SDI는 모듈 설계와 공정 기술, 소재를 중심으로 개발을 진행하고 있다.

## 6. 염료감응 태양전지 상용화

염료감응 태양전지의

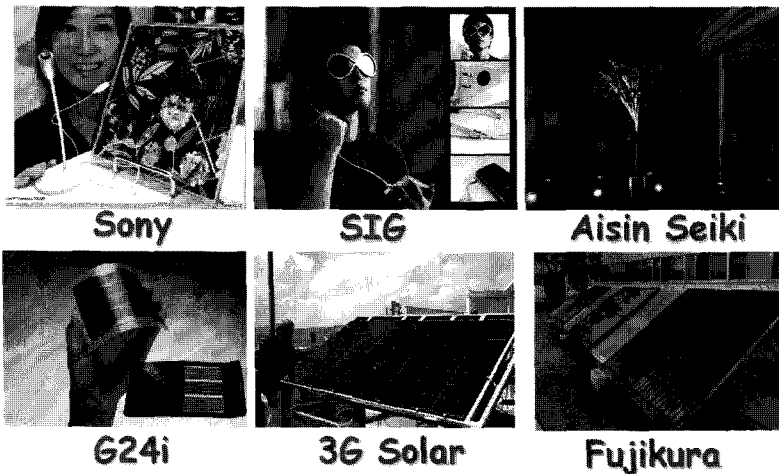


그림 13 염료감응 태양전지 적용 제품.

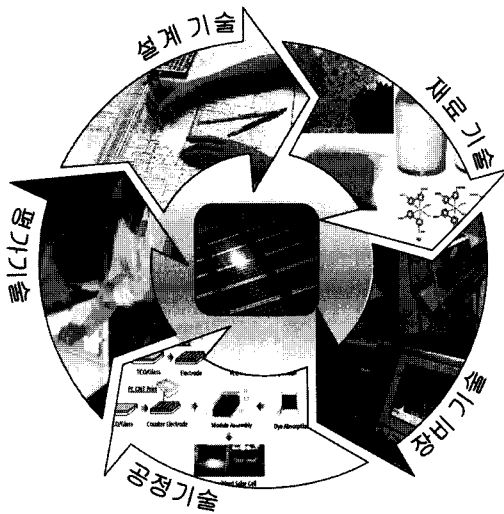


그림 14. 염료감응 태양전지 양산화를 위해 필요한 기술.

Details	
설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conventional : P/Z/W</li> <li>• Solution Customized : Mixed</li> </ul>
재료 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Glass / TCO</li> <li>• TiO<sub>2</sub> ; thin film materials</li> <li>• Dye, Electrolyte</li> <li>• Sealant, Solder</li> <li>• Cleaner ; and More</li> </ul>
장비 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Screen Printer / Spraying</li> <li>• Thermal : Drying / Sintering</li> <li>• Dye Absorption Machine</li> <li>• Electrolyte Injection</li> <li>• Simulator</li> </ul>
공정 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colloidal &amp; Thin Film</li> <li>• Drying &amp; Sintering</li> <li>• Dye &amp; Electrolyte</li> <li>• Sealing</li> <li>• Laser</li> </ul>
평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Materials characteristics</li> <li>• PV characteristic Analysis</li> <li>• Defect Analysis</li> <li>• Long-term durability Analysis</li> </ul>

양산화는 크게 3가지 방향에서 진행될 것으로 보인다. 첫째, 신규 소재를 개발하여 효율을 향상하고, 둘째, 신뢰성을 검증하고 향상시키며, 마지막으로, 소재 가격의 대부분을 차지하는 전도성 기판을 대체하는 기술을 개발하거나, 염료를 양산화하여 가격을 절감하는 방향으로 나아가야 할 것이다.

이때 특히나 재료의 양산성 확보를 위한 기술은 정말로 중요하다. 염료감응 태양전지의 가장 중요한 장점은 바로 저렴한 가격에 생산이 가능하다는 점이지만, 현재까지는 업계의 수요를 감당할 만한 재료 공급 업체의 양산 기반이 마련되어 있지 않다.

모듈 생산 업체의 입장에서는 단순히 가격이 싸 재료만을 가지고 있다고 양산화가 가능한 것이 아니다. 비교적 공정 단순화와 양산 기술이 발달한 실리콘 태양 전지 산업과 달리, 염료감응 태양전지 분야의 공정 기술은 초기 단계이기 때문이다.

즉, 양산 기술의 확보가 염료감응 태양전지 상용화를 하는데 시급하게 필요하다.

그림 14에서 간단하게 표시된 것과 같이, 염료감응 태양전지 양산을 위해서는 설계, 재료, 장비, 공정, 평가 기술 등 다양한 부분이 만족되어야 한다.

양산을 위하여 필요한 것을 상용화 QCD

(Quality, Cost, Delivery) 측면에서 살펴보면 다음과 같이 정리할 수 있다.

- Q: 재료 기술 개발을 통한 효율 개선
- C: 양산 기술 개발을 통한 원가 절감
- D: 공정 기술 개발을 통한 수율 확보

## 7. 결론

염료감응 태양전지는 실리콘 태양전지와 구별되는 기술적인 장점과 낮은 가격으로 현재 차세대 태양전지로 주목 받고 있는 기술이다. 그러나 기술적/가격적 장점에도 불구하고 상용화 정도는 미흡한 것이 사실이다. 따라서 마지막으로 염료감응 태양전지의 시장 확대를 위한 경쟁력 확보 방안에 대하여 언급하고자 한다.

### 첫 번째, 기술 경쟁력 확보

현재 태양광 분야의 양산은 모두 일본이나 독일 등의 선진국 기술을 도입하여 제품 생산을 진행되고 있는 실정이다. 원천 기술의 확보 없이 국내 태양광





산업 발전을 기대할 수는 없는 현실이다. 그런 이유로, 비교적 진입 장벽이 낮은 염료감응 태양전지의 원천 기술 확보를 통한 시장 발전의 숙제를 푸는 첫 번째 열쇠를 마련해야 할 것이다.

### 두 번째, 원가 경쟁력 확보

현재 태양광 시장은 원자력이나 화력, 풍력 등의 다른 분야에 비해서 원가 기반이 취약한 편이다. 이런 이유 때문에, 태양광 기술의 경우 현재는 정부 주도로 관련 기술 개발이 진행되고 있는 실정입니다. 2013년 이후 정부의 보조금 정책 등이 줄어들어는 시점이 오면 관련 시장은 무한 경쟁에 돌입하게 됩니다. 또한, 중국의 값싼 제품들과의 경쟁에서 이기기 위해서는 바로 지금부터 원가 경쟁력 확보에 보다 가열찬 노력을 가해야 할 것으로 생각됩니다.

### 세 번째, 디자인 경쟁력 확보

태양광 발전 시스템은 태양전지와 인버터 및 배터리 등의 관련 부품들로 구성된다. 즉, 보다 많은 전력을 생산하기 위해서는 보다 많은 태양광을 흡수해야 하므로 설치 시에 외부로 노출이 되어야 하는 특성을 가지고 있다.

태양광 발전 시스템에서 디자인적인 요소는 효율 개선, 장기 안정성 개선 기술 개발만큼이나 중요하다. 즉, 상품화를 위해서는 반드시 심미적인 고려하여야 한다. 태양전지란 단순히 태양의 빛 에너지를 사용하여 전기를 만들어 내는 역할만을 수행하는 것이 아니라 건물의 외관을 장식하는 경관 조형물로서의 역할을 겸해야 한다는 뜻이기도 하다.

이런 이유로, 태양전지는 심미적인 아름다움을 지향해야 하고, 근래의 기술 개발 방향 중 중요한 부분으로 생각되고 있는 것이 디자인 기술 개발 부분이다.

### 참고 문헌

- [1] 태양광발전(최신 기술과 시스템) P.2(2000), CMC 출판
- [2] ferdinand-engelbeen.be 자료
- [3] 그린에너지로드맵, 신재생에너지센터

- [4] 신재생에너지 정의, Wikipedia
- [5] 태양광 발전 로드맵, P. 30 (2009), 에너지기술평가원
- [6] 태양광 발전 로드맵, P. 11 (2007), 에너지기술평가원
- [7] 박남규, 태양전지기술이해, P. 63, 솔라투데이 2010.01
- [8] Michael Graetzel, 1991, Nature
- [9] 염료감응태양전지 정의, WIKIPEDIA
- [10] Michael Graetzel, 1991, Nature
- [11] 염료감응 태양전지 설치 사진, 다이솔터모
- [12] www.nrel.gov/ncpv/thin\_film/docs/kaz\_best\_research\_cells.ppt

### 저|자|약|력|



성 명 : 이경주

◆ 학 력

- 2001년 고려대학교 공과대학 전기공학과 공학사
- 2008년 고려대학교 대학원 전자전기공학과 공학석사
- 2011년 고려대학교 대학원 전자전기공학과 공학박사(수료)

◆ 경 력

- 2001년 - 2006년 삼성전자 컴퓨터사업부 선임연구원
- 2008년 - 현재 티모테크놀로지 그린에너지사업부 책임연구원

