



염료감응형 태양전지 기술개발 동향

전형수* 주무정** 강만구***

염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell: DSC)는 광합성의 원리를 응용한 태양전지로 햇빛을 받으면 전자를 방출하는 특정 염료와 전해질을 이용해 전기를 만들어 낸다. 염료감응형 태양전지는 3세대 태양전지로 꼽히는데, 1세대인 실리콘 결정형 대비 제조원가가 저렴하고, 2세대인 비정질 실리콘 태양전지나 CIGS(구리·인듐·갈륨·셀레늄) 대비 초기 설비 투자 비용도 저렴하다. 또 산란광이나 약한 빛에서도 발전이 가능하며, 가볍고 광투과성이 높기 때문에 건물 외벽에 부착해 전기를 생산하는 전자제일체형 태양전지(BIPV) 생산에 유리하다. 그리고 사용하는 염료에 따라 태양전지 색상을 변환할 수 있어 여러 용도로 제작할 수 있다. ☐

목	차
---	---

- I. 서론
- II. 기술적 특성
- III. 해외의 기술개발 동향
- IV. 국내의 기술개발 동향
- V. 결론

I. 서론

기후변화 위기에 대한 세계적 공감대가 형성되고 있는 가운데 기존 화석연료 기반의 에너지 대신 태양, 바람, 물 등 청정자원을 이용한 재생에너지에 대한 수요가 갈수록 높아지고 있다. 특히 에너지 자원의 확보가 세계 각국의 생존전략으로 대두되고 있는 가운데 태양광 발전은 향후 에너지 부족을 해결할 수 있는 유력한 대안이 되고 있다. 저렴하면서 안정적인 에너지 자원의 확보 여부에 따라 국가의 산업 경쟁력이 좌우되며, 기후변화협약에 따른 이산화탄소 감축에도 유용한 수단이 되고 있다.

태양광 발전은 태양 빛을 직접 전기에너지로 전환하는 기술로 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기 에너지를 방출하는 태양전지를 이용한 발전방식이다. 태양광 발전 시스템은 태양전지(Solar Cell)로 구성

* ETRI 기술경제 1팀/책임연구원
 ** ETRI 차세대패키지연구팀/팀장
 *** ETRI 차세대에너지기술연구팀/팀장

된 모듈과 축전지 및 전력변환장치로 구성되어 있다.

태양광을 전기로 바꿔주는 태양전지는 지금까지 대부분 실리콘반도체를 이용한 것이었지만, 최근 실리콘을 전혀 사용하지 않고 특정 천연염료를 사용해 햇빛을 전기로 바꿔주는 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell: DSC)에 대한 관심이 높아지고 있다[1].

염료감응형 태양전지는 1991년 스위스 로잔공대(EPFL) 화학과의 미카엘 그라첼(Michael Gratzel) 교수가 처음 개발에 성공하여 네이처(Nature)지에 소개되면서 알려졌다.

염료감응형 태양전지는 투명하고 유연하게 제작이 가능하여 다양한 응용제품에 적용할 수 있고, 다양한 염료를 사용하여 수많은 색상을 구현할 수 있으며, 생산비용이 기존 태양전지의 1/3~1/5에 불과하다. 태양광을 전기로 바꿔주는 효율이 결정질 실리콘계 태양전지의 절반 수준이나, 제조비용을 크게 낮출 수 있어 많은 기업들이 상업화를 준비하고 있다.

염료감응형 태양전지의 향후 시장 규모는 일본 후지연구소에 따르면 2010년 약 1,760억 원, 2015년 약 2조 600억 원으로 전망된다. 태양광 시장 전체 규모는 2015년 약 120조 원으로 예상되어 염료감응형 태양전지는 2.1%의 비중을 차지할 것으로 전망되고 있다[2].

본 고에서는 제 3세대 태양전지로 부상하고 있는 염료감응형 태양전지의 기술적 특성과 국내외 개발 동향을 분석하고자 한다.

II. 기술적 특성

1. 분류

태양전지는 재료, 형태, 원리 등에 따라 여러 가지로 분류된다. 첫째, 재료에 따라 실리콘계, 화합물계, 유기물계 등으로 구분되고, 형태에 따라 결정질 벌크형, 박막형, 집중형으로 구분된다. 원리에 따라 크게 p-n 접합으로 구성된 반도체 접합형, 염료감응형 태양전지로 대표되는 광전기화학형으로 구분된다.

현재 시장 상황 및 기술개발 상황을 고려하면 1세대인 결정질 실리콘 태양전지, 2세대인 박막형 태양전지, 초고효율 태양전지, 3세대인 차세대 태양전지로 구분된다.

염료감응형 태양전지는 <표 1>과 같이 재료별 분류에서 유기재료(염료)를 사용하며 형태는 용액으로 투명전지, 저가재료, 환경친화적 특징을 갖는다[3].

세대별로는 <표 2>와 같이 3세대 차세대 태양전지로 장기적인 실용화를 목표로 새로운 개념이나 아이디어를 적용하여 현재 태양전지의 기술적, 경제적 한계를 극복하고자 하는 미래형

<표 1> 재료별 태양전지 분류

재료		형태	특징
무기	실리콘	결정	- 고순도, 낮은결함, 고가(단결정) - 저렴한 공정, 저순도 재료(다결정)
		박막	- 최초 박막형태, 저가
	비실리콘 (화합물)	결정	- 가장 높은 효율, 우주용, 고가
		박막	- 이종접합, 물질합성 용이
	적층	박막	- 고효율, 연구실 실험용
유기	염료	용액	- 투명전지, 저가재료, 환경 친화
	유기	박막	- 유연성, 다양한 물질, 저가

<자료>: 전자부품연구원, '태양광 발전시장 동향', 2007.11, p.6

<표 2> 세대별 태양전지 분류

구분	태양전지	특성
1 세대	결정질 실리콘 태양전지	- 단결정 실리콘 또는 다결정 실리콘 웨이퍼를 이용한 태양전지 - 지금까지 가장 많은 연구개발이 진행되어 기술적으로 가장 성숙되어 있음 - 현재 생산·판매되고 있는 태양전지의 90% 이상을 차지하고 있는 1 세대 태양전지
2 세대	박막형 태양전지	- 비정질·마이크로 결정질 실리콘, 다결정 실리콘, CuIn 계 화합물, Cd 계 화합물 등을 이용하여 제조된 박막형태의 태양전지 - 결정질 실리콘 태양전지에 비해 생산단가가 낮고, 가격에서 원재료가 차지하는 비중이 낮아 최근 관심이 집중되고 시장에서 영향력을 높여가고 있는 2 세대 태양전지
	초고효율 태양전지	- 주로 GaAs 나 InP 와 같은 이론적 한계 효율이 높은 III-V족 화합물 반도체를 사용하여 높은 효율을 얻고자 하는 태양전지 - 가격보다 고효율 특성이 요구되는 인공위성, 우주왕복선 등 항공, 우주분야 적용 - 또한 집광형 장치(Concentrator)를 결합시켜 초고효율을 구현하고 가격 측면에서도 다른 태양전지와와의 경쟁력을 갖추기 위한 노력도 활발히 진행
3 세대	차세대 태양전지	- 장기적인 실용화를 목표로 새로운 개념이나 아이디어를 적용하여 현재 태양전지의 기술적, 경제적 한계를 극복하고자 하는 미래형 태양전지 - 유기물(Organic) 태양전지, 나노기술이 적용된 태양전지, 다중접합(Multi-Multiple) 태양전지, 염료감응형 태양전지, 밴드갭(Bandgap) 또는 월광전(Thermophotovoltaic) 조 절을 이용한 태양전지 등이 있음

<자료>: 전자부품연구원, '태양전지 기술 및 시장동향' 2007. 9, p.1

태양전지이다[4].

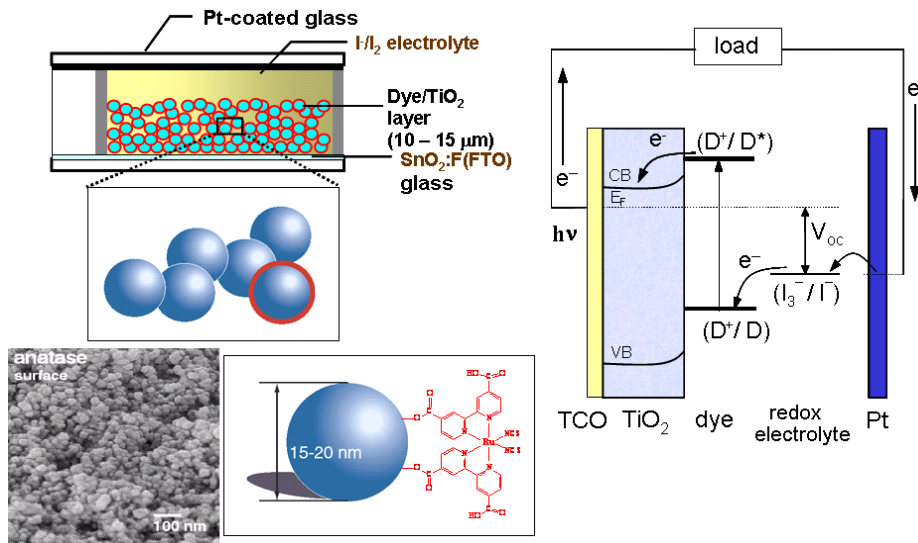
2. 기술 개요

염료감응형 태양전지기술은 (그림 1)과 같이 식물이 햇빛을 받아 엽록소와 수액을 통해 녹말을 만들어 내는 광합성의 원리를 응용한 것이다. 햇빛을 받으면 전자를 방출하는 특정 염료와 전해질을 이용해 전기를 만들어 내는 방식이다. 즉, 두 장의 투명전도성 전극 사이에 나노입자로 구성된 다공질 TiO₂ 후박, 흡착된 염료, 백금 박막 그리고 두 전극 사이에 채워진 전해질을 포함

하는 광전기 화학 기반의 태양전지이다.

염료감응형 태양전지가 햇빛을 전기로 바꿔주는 원리는 다음과 같다. 우선 염료감응형 태양 전지는 투명전극필름을 부착한 두 유리기관 사이에 특정 염료를 흡착한 나노입자와 전해질을 채운 간단한 구조로 되어 있다. 유리기관을 통과한 태양광은 염료와 만나는데, 이 때 염료는 전자(-)를 배출한다. 배출된 전자는 나노입자(전공+)를 따라 투명전극 필름으로 흐르게 되는데, 이것이 전기를 만들게 되는 것이다. 염료로는 일반 포도즙 등 과즙을 사용해도 되고, 다양한 유기물질이 사용되고 있지만, 전자를 더욱 많이 배출하도록 특정 금속화합물을 사용하기도 하는데, 나노입자로는 주로 이산화티타늄(TiO₂)이 사용된다. 전해질은 전자를 배출한 염료에 다시 전자를 생성시켜주는 역할을 담당한다.

스위스의 그라첼 교수가 1991 년 스위스 연방공과 대학에서 최초로 염료감응형 태양전지를 개발한 뒤 500 여 편의 논문과 40 여 개의 특허를 보유하고 있다. 이후 호주의 다이솔(Dyesol)사가 나노기술과 고도 화학기술을 접목시키면서 상용화에 다가서게 되었다.



<자료>: ETRI, 2009. 6.

(그림 1) 염료감응 태양전지의 구조 및 작동원리

3. 특성

염료감응형 태양전지는 가격 경쟁력, 가볍고 높은 광투과성, 다양한 용도에 사용되는 장점이 있으나 효율이 낮고 아직 상용화가 되지 않아 장기 안정성이 부족한 단점이 있다.

장점으로는 첫째, <표 3>과 같이 염료감응 태양전지는 간단한 구조, 저가의 소재와 비진공

<표 3> 염료감응형 태양전지의 가격경쟁력 및 효율

구 분	현재소자기반	미래소자기반	다결정실리콘
DSSC 모듈 가격	120~150 유로/m ²	70~90 유로/m ²	300~400 유로/m ²
셀 효율 11% 가정	1.4 유로/Wp	0.8 유로/Wp	3 유로/Wp(12% 기준)

<자료>: ETRI, 2009. 6.

공정 등으로 기존 실리콘계 태양전지보다 제조공정이 간편하고 초기 투자부담이 적으며 기술 개발에 따른 원가혁신이 가능한 저가격 태양전지로 가격 경쟁력이 매우 우수하다. 실리콘은 특정 시간대에 특정 방향으로만 에너지를 모을 수 있지만 염료감응형 태양전지는 해가 조금이라도 떠 있는 시간에는 모든 방향에서 에너지를 흡수할 수 있다. 보통 결정질 실리콘 태양전지의 가격은 와트당 2.5 달러 선인데 염료감응형 태양전지는 와트당 1 달러 이하로 제작할 수 있다. 실리콘 결정계 태양전지는 약 15%대의 높은 효율을 가지는 장점이 있으나, 폴리 실리콘의 수급 불안정 및 고순도화에 필요한 고온공정 에너지 문제로 모듈 단가를 0.7\$/Wp 이하로 내리는 것은 한계가 있다. 또 2 세대인 비정질 실리콘 태양전지나 CIGS(구리·인듐·갈륨·셀레늄) 대비 초기 설비 투자 비용도 저렴하다. Si-박막계 태양전지는 Si-원재료 문제에서 자유로우나, 제조공정이 진공증착과 고정밀 레이저 가공으로 구성되어 공정 및 장비기술의 확립이 필요하고, MW 당 초기 설비 투자비에 부담이 있다.

둘째, 산란광이나 약한 빛에서도 발전이 가능하다. <표 4>와 같이 실리콘 태양전지가 맑은 날에만 주로 발전이 가능한 반면, 염료감응형 태양전지는 흐린날이나 실내 등에서도 발전이 가능할 정도로 투명성과 유연성 측면에서 탁월하다.

<표 4> 염료감응형과 실리콘형 태양전지 비교

구 분	염료감응형 태양전지	실리콘형 태양전지
투명성	가능	불가능
유연성	가능	불가능
색상	다양한 색상	흑색, 청색
효율	~10%	~20%
제품가격	1\$/W	4\$/W
출력	1W/100 cm ²	2W/100 cm ²

<자료>: ETRI, 2009. 6

셋째, 가볍고 광투과성이 높기 때문에 건물 외벽에 부착해 전기를 생산하는 전자제일체형 태양전지(BIPV) 생산에 유리하다. 즉, 유연하고 반투명하게 만들 수 있어 건축물, 모바일 기기 등에 다양하게 사용할 수 있고 타일형태로 되어 있어 실생활의 다양한 곳에 응용할 수 있다. 전기가 많이 소요되는 네온사인 등 염료감응형 태양전지로 쉽게 교체할 수 있는데, 낮에 빛을 받아

저장했다가 저녁이 되면 가로등 켜지듯 불이 들어온다.

넷째, 사용하는 염료에 따라 태양전지 색상을 변환할 수 있어 여러 용도로 제작할 수 있다. 특히 가시광선을 통과시키는 투명한 성질과 염료에 따른 다양한 색깔을 표현할 수 있다는 점에서 건물이나 자동차, 생활용품 등의 유리 대용으로 사용할 수 있는 등 응용분야가 다양하다. 게다가 구부릴 수 있는 유연한(플렉서블) 제품으로도 상용화가 가능해 의류, 가구 등 다양한 제품에 부착해 전기를 만들어 낼 수 있다. <표 5>와 같이 유리창호, 선루프 등 응용제품이 출현하고 있다. 최근에는 자동차 선루프 대용으로 개발하려는 노력이 활발히 전개되고 있다. 자동차 전장 부품 종류가 늘어나면서 연비 저하의 주요 원인이 되고 있는데, 선루프에 태양전지를 장착하면 연비를 획기적으로 끌어 올릴 수 있다[5].

<표 5> 염료감응형 태양전지의 응용분야

분류	응용분야
태양광발전 유리창호용 태양전지	<ul style="list-style-type: none"> - 색유리 태양광발전 창호 - 투과성 - 약광, 산란광에서 우수한 성능 - BIPV 시장 확대 대응
자동차 선루프용 태양전지	<ul style="list-style-type: none"> - 반투명 색유리 선루프 - 자동차 발전용 유리 - 약광, 산란광에서 우수한 성능 - 하이브리드카 확대 대응

<자료>: ETRI, 2009. 6

염료감응형 태양전지의 단점으로는 낮은 효율과 아직 상용화가 되지 않아 장기 안정성이 부족하다. 실리콘 태양전지에 비하여 낮은 효율을 보이고 있는데 태양광에너지를 전기로 얼마나 많이 바꿔주는냐는 효율면에선 상업용 결정질 실리콘 태양전지가 약 14~17% 수준인 반면, 상업용 염료감응형 태양전지는 아직 약 4~7% 수준에 그치고 있다[6].

또 내구성 장기 안정성에 대한 실증자료가 부족한데 도요타, 후지쿠라 등 일본 기업에서 상용화하기 위하여 외부 실증 테스트를 진행중에 있다. 도요타, 후지쿠라, 소니 등에 의하면 10년 이상의 신뢰성은 검증된 것으로 판단된다.

실제 환경에서 염료감응 태양전지의 광변환 효율 등 성능은 이미 실리콘 결정질 태양전지에 필적하고 있다. 상용화의 마지막 과제로 양산문제만 해결되면 염료감응형 태양전지가 결정질 실리콘 태양전지를 대체할 수 있을 것이다. 최근에는 기존 염료의 화학적 구조를 개선하여, 가시광선 외 적외선까지 에너지로 변환시킴으로써 실험실 수준에서는 이미 10%대의 광변환 효율을 갖는 염료감응형 태양전지 개발에 성공하였다.

III. 해외의 기술개발 동향

<표 6>과 같이 염료감응형 태양전지의 상용화 추진은 현재 각국에서 활발히 진행 중이다. 유럽은 독일 프라운호퍼 연구소, 솔라로닉스, ECN 을 중심으로, 미국은 코나카(Konarka), 듀폰, GE, MIT 를 중심으로 진행 중이다. 2007 년 미 MIT 연구진은 실리콘 태양전지 내부에 광결정 구조를 만들어 빛이 바로 반사되지 않고 전지 내부에서 계속 머물게 하는 데 성공한 바 있다.

<표 6> 해외의 염료감응 태양전지 개발 현황

국가	연구기관	주요 연구개발 내용	주요 성과	대표 연구자
스위스	EPFL	- 나노산화물 연구 - 홀 전도체 연구 - 나노 콘포지트 전해질 연구 - 고효율 염료 합성 연구	- 세계 최고 효율 11% 달성 - 고체형 염료감응 태양전지 개발 - 고효율 염료 및 고분자 전해질 연구	M.Gratzel 교수
	Solaronix	나노 TiO ₂ , 염료, 전해질 합성	- 소재개발 및 판매	Toby Meyer 박사
독일	프라운호퍼연구소	염료감응태양전지 모듈연구	Z-구조 모듈 개발	A.Gombert 교수
네덜란드	ECN	염료감응태양전지 모듈연구	반자동 모듈 제작 공정개발	J.M. Kroon 박사
영국	Imperial 大	광전자 전달 메커니즘 연구	광전자 전달 메커니즘 해석	J.Durrant 교수
스웨덴	Uppsala 大	- 플렉시블 태양전지 연구 - 광전자 전달 메커니즘 연구	콤팩트셀 개발	A Hagfeldt 교수
영국	AIST	유기염료 연구	쿠마린계 염료개발	스기하라 박사
	동경과학 大	유기염료 연구	쿠마린계 염료개발	아라카와 교수
	오사카 大	전도성 고분자 연구, 광전자전달 메커니즘 연구	홀전도성 고분자 염료감응 고체전지 개발	야나기다 교수
	큐슈기술 大	고분자 전해질 연구	고분자 전해질 개발	하야세 교수
	토인대	플렉시블 태양전지 모듈연구	플라스틱 염료감응 태양전지 모듈 개발	미야사카 박사
	샤프	염료감응 태양전지 모듈연구	염료감응 태양전지 등가회로 규명	Dr. L. Han
	도요타	염료감응 태양전지 모듈연구	모듈 안전성 평가	모로히토 박사
	후지쿠라	염료감응 태양전지 모듈연구	저항 감소 그리드 코팅기술 개발	다나베 박사
	히다치막셀	플렉시블 염료감응 태양전지 모듈연구	대면적 플라스틱 염료감응 태양전지 개발	세키구치 박사

<자료>: 하나금융경영연구소, '국내외 태양전지 시장 및 업체 현황', 2008.8

<표 7>과 같이 현재 염료감응형 태양전지의 창시자인 그라첼 교수가 고문으로 있는 호주의 다이솔(Dyesol)사가 주도적으로 상용화를 진행하고 있다. 다이솔은 그라첼 교수의 기술에 나노 기술과 고도 화학기술을 접목시키면서 최초로 상용화된 제품을 출시하였다. 2004 년 호주증권시장에 상장했고, 지적재산권(IP)만 23 개 이상에 달한다[7].

<표 7> 염료감응형 태양전지 업체들의 기술 현황

기업명	기업화 단계			비고 (관련제품, 특징, 장점 등)
	개발	생산	적용	
Dyesol(호주)		○		- 태양전지 모듈 및 어레이 생산 - 모듈 효율 5% 발표 - 금속기판 플렉시블 염료감응 태양전지 모듈 시제품
Konarka(미국)	○			- 플라스틱 기반 염료감응 태양전지 시제품
Solaronix(스위스)		○		- 염료감응형 태양전지 관련 소재 제조 및 판매
Pecell(일본)	○			- 염료감응형 태양전지 관련 소재 제조 및 판매
도요타(일본)	○			- 염료감응형 태양전지 모듈 시제품
샤프(일본)	○			- 염료감응형 태양전지 모듈 시제품
GE	○			- 기초소재 연구
후지쿠라(일본)	○			- 고효율 대면적 염료감응 태양전지 시제품 - 초저저항 염료감응형 태양전지용 투명 전도성 기판
도시바(일본)	○			- 염료감응형 태양전지 모듈 시제품

<자료>: 테이코산업연구소, '태양광시장의 실태와 전망', 2009. 5.

<표 8>과 같이 아시아에서는 일본이 가장 앞서 있으며, 2010년 이내 상용화할 것으로 예상된다. 소니, 토요다, 교세라, 샤프, 파라소닉, 후지필름 후지쿠라 등을 포함한 자동차, 전자, 태양전지, 세라믹 소재, 화학 소재 업체 등 50개 이상의 기업이 염료감응형 태양전지를 이용한 태양전지 응용 상품화 및 사업화를 위한 연구를 진행시키고 있다. 특히 도요다, 소니, 후지쿠라 등은 향후 5년 이내에 염료감응형 태양전지의 단점을 극복하여 상품화할 것으로 예상된다[8].

<표 8> 해외의 개발 동향

업체	주요 상품 목표	개발 내용	비고
후지쿠라			모듈 판넬 제작
도요다	광발전 태양전지 BIPV 태양전지 모듈 효율 현재 8% 목표: 10%(2015년)	소재 및 셀 구조 장비 및 공정기술 신뢰성 평가 공업규격(JIS) 평가 2010년 이전에 상품화 가능성이 매우 큼	건물유리 및 옥외 광발전 실증테스트 3년
샤프			세계최고효율 최대면적 25×25]
소니			세계 최고 기술 보유
교세라			
후지필름			플렉시블, 염료
ECN	플렉시블, 광발전 효율목표: 10% 보증기간: 10년	고분자 전해질 고체형 전해질 공정/신뢰성 향상	그라첼+ ECN+ Fraunhofer+ G24i+ solaronix 등 유럽연합체 구성하여 일본과 상용화 경쟁
푸라운호퍼	BIPV	고분자 전해질 공정/신뢰성 향상	

<자료>: ETRI, 2009. 6.

IV. 국내의 기술개발 동향

국내에서는 한국전자통신연구원(ETRI)에서 2000년부터 최초로 연구를 시작하여 국내외 특허 50 여건, 기술이전 4 건(일진소재산업, 상보, 우리솔라, 선테크)을 실시하였으며 세계적 수준의 기술을 보유하고 있다.

<표 9>과 같이 국내 염료감응형 태양전지는 출연연구원인 KIST, ETRI, 한국화학연구원, 한국전기연구원 등에서 연구를 수행중이며, KIST는 세계적 수준인 효율 11%의 염료감응 태양전지 요소기술을 보유하고 있다. 대학은 서울대, 고려대, 한양대, 인하대, 가톨릭대, 전북대 등 16 여 대학에서 개별적으로 기초연구를 수행중이며 연구인력 및 연구분야가 점차 확대되고 있다.

2006년 이후 염료감응형 태양전지 관련 염료, 산화물 페이스트, 전해질, 모듈제작공정, 장기안정성 기술 개발을 산·학·연 공동연구로 수행하고 있다. 유기분자 태양전지는 2007년에 광주

<표 9> 국내 연구소 및 대학의 염료감응형 태양전지 개발 동향

기관	추진내용
ETRI	- 국내 최초 연구 - 정부출연연중 최다 특허보유
KIST	- TiO ₂ 특화 - 2009년 4월 광결정 구조를 이용해 빛을 증폭시키는 방법으로 발전효율을 높일 수 있는 염료감응형 광증폭 태양전지 개발 - 기존 염료감응형 태양전지는 감광염료를 코팅한 이산화티타늄(TiO ₂) 입자로 무질서하게 연결된 전극 구조를 갖고 있는 데 비해 이번에 개발된 기술은 서로 다른 투명재료가 만드는 광결정 구조를 이용해 특정 파장의 빛을 선택적으로 가두고 전해질과 전자의 효율적 전달을 가능하게 함
전기연구원	- 2004년 CNT 상대전극을 이용한 태양전지 개발 - 2005년 스위스 EPFL에서 기술 검증 - 2008년 최대 효율 6%, 서브모듈 크기 10cm x 10cm의 탄소나노튜브 상대전극을 이용한 '염료감응형 태양전지 대면적 모듈'을 개발하여, 기술이전까지 완료 - 2012년까지 효율을 7%까지 높은 태양전지를 개발할 계획 - TCO가 필요없는 상대전극 개발이 목표
건국대	- 2009년 5월 건국대는 독일 프라운호퍼태양에너지연구소(ISE)를 유치, 공동으로 차세대 태양전지 원천기술 개발 착수 - 건국대, 프라운호퍼연구소, 동진세미켵, 코오롱, 이진창호, 에스엔유프리시전 등 6개 기업이 참여해 원천기술 개발에 협력 - 차세대 태양전지 연구소는 향후 '유기화합물 기반 염료감응형 태양전지'와 '유기 태양전지' 기술을 개발하는데 먼저 고효율화를 위한 원천기술을 확보하고 나아가 실용화에 필요한 연구개발을 추진
고려대	- 2008년 11월 고려대 세종캠퍼스 신소재화학과 고재중 교수팀은 세계 최고 수준인 7.31%의 효율을 자랑하는 '준고체 전해질을 이용한 염료감응형 태양전지'를 개발했다고 발표 - 염료감응형 태양전지는 실리콘 태양전지보다 가격이 절반 가량으로 싸고 제조 공정이 간편하며 휘어지는 성질이 있어 활용폭이 넓으나, 조그만 셀을 큰 태양판(패널)으로 만들어야 하는데 이때 효율이 절반으로 떨어지는 단점이 있음 - 연구진은 이를 해결하기 위해 액체 전해질 대신 준고체 전해질을 사용했으며 그 결과 제작이 간편하고 안전성도 크게 향상 * 연구진이 개발한 전지는 7.31%의 효율을 보였으며 이를 이용해 패널을 만들 경우 5.5%의 효율을 보여 상용화가 가능한 6%에 근접

<자료>: 전자신문, 2009. 6. 4 요약

과학기술원에서 적층기법으로 티타늄 고분자 태양전지를 제작하여 셀 단위에서 세계 최고 수준인 6.5%의 효율을 달성하였으나, 상용화를 위한 공정기술은 부족한 실정이다[9].

<표 10> 국내 기업의 염료감응형 태양전지 개발 동향

업체	내용
코오롱	- 유기태양전지 관련사업을 추진할 코오롱윈스 설립, 시공, 발전소 사업 강행
동진씨미켄	- KIST와 염료감응형 태양전지를 공동 개발 중 - 2008년 6월 파일럿 연구를 위한 설비를 구축, 염료 등 소재상품화 기술개발 - 광발전/BIPV 모듈 양산 기술개발(5MW급으로 2009년 12월 목표) - 2015년까지 400억 원을 투입하여, 100MW DSSC 제조라인 건설하여 양산 예정
루미나노	- 염료감응형 태양전지 교보재 생산
프리셋 (Freesat)	- 세계 최초 염료감응형 태양전지를 상용화하였고, 응용제품을 개발하며, 고내구성 염료감응 태양전지 특허를 출원 - 세계 최초 1M급 준 양산장비 개발 완료 - 고 내구성 태양전지 생산(85°C에서 1,000시간 가동 가능) - 염료(N719, N3), TiO ₂ , 액체 전해질, 준고체 전해질 등 대량생산 - 2009년 5월 △대면적 염료감응형 태양전지 모듈(300mm×300mm) △직렬 3, 병렬 6개의 셀로 연결된 BIPV(Building Integrated Photovoltaic)용 염료감응형 태양전지 모듈 △건전지 없이 MP3 플레이어가 구동이 가능한 염료감응형 태양전지 일체형 솔라웨어 공개 - 2009년 5월 우리솔라를 합병하고 사명을 TG-에너지로 변경
삼성SDI	- 2004년부터 자체개발, 산업화 최고 기술 보유(디스플레이, 전지 등 기반기술) - 2008년 6월 KAIST와 함께 유리나 필름을 이용해 건물 유리창을 통해 태양광 발전을 할 수 있는 염료감응형 태양전지를 개발 - 2009년 초 업계 최대 크기의 염료감응형 태양전지 개발, 모듈은 가로와 세로 37cm와 40cm로 현재 개발된 염료감응형 태양전지 가운데 가장 큼
우리솔라	- 최근 무기물 실링재의 일종인 Glass Frit을 이용해 10년 이상의 수명을 유지할 수 있는 고 내구성 염료감응 태양전지 제조에 성공, ETRI 기술 도입 - 2009년 4월에는 디엠에스와 공동으로 세계 최초의 1MW급 염료감응형 태양전지 제조장비 개발에 성공 - 2009년 5월 프리셋과 합병 완료
이전창호	- 2007년 '이전솔라윈(EAGON SOLAR-WIN)'이라는 태양광 창호브랜드 출범 - 'BIPV(Building Integrated Photovoltaic System)'라는 '건자재 일체형 태양광발전 시스템'을 고안, BIPV는 건축물의 외벽이나 지붕, 창문에 태양광발전 설비를 통합시켜 시공할 수 있기 때문에 건축비가 절감 - 2008년 9월 염료감응형 태양전지 시제품 개발에 성공
다이솔티모	- 2009년 3월 염료감응형 태양전지 특허를 보유한 호주의 다이솔(Dyesol)과 합작법인을 설립해 태양전지 양산을 추진 - 2009년 4월 성남에 태양전지 양산 검증 설비를 설치
디엠에스	- 건축 외장재 등에 쓰이는 염료감응형 태양전지 공정장비를 우리솔라에 일괄 공급하는 등 다양한 태양전지 장비기술을 확보
상보	- 2008년 8월 ETRI로부터 변환효율 6%대의 '플렉서블 염료감응형 태양전지 기술'을 이전 받아 상용화를 추진중, 모바일용 충전기 상품화 진행중 - Roll to Roll 박막코팅 기술, 고효율 달성을 위한 패터설계 기술, 내구성 증대를 위한 표면 처리 및 접착 기술 그리고 CNT 투명전극 필름의 응용 기술을 보유하고 있어 이를 응용한 상용화 노력에 초점
선테크	소형전원용 태양전지 상품화 진행중, ETRI 기술 도입
일진소재산업	태양전지 생산을 위한 양산공정 기술 개발, ETRI 기술 도입
기타	아크로졸, 현대하이스코, 신한다이아몬드, 나노팩, 솔라시스 등

<자료>: 전자신문, 2009. 6. 4. 요약

대학과 연구소의 경우 고효율화를 위한 나노소재 전극개발, 염료설계 및 합성, 산화·환원 전해질 개발, 고체 홀 전도체 개발, 금속 대전극 개발 등 주로 요소기술 개발을 통한 고효율화 및 메카니즘 연구에 주력하고 있으며, 기업 중심으로 셀 제작 모듈화 기술개발 분야에서 연구를 수행하고 있다. 최근 녹색산업에 대한 관심이 고조되자 삼성 SDI, LG 디스플레이 등 대기업에서 염료감응형 태양전지 사업에 참여의사를 표명하고 있다[10].

<표 10>과 같이 국내 기업에서는 티모테크놀로지가 호주 다이솔과 합작해 설립한 다이솔티모가 2009년 7월 상업생산 설비를 갖추고 세계 최초로 상용화를 위한 시험생산에 성공하여 우리나라가 세계 최초로 염료감응형 태양전지 양산 국가로 발돋움할 전망이다[11].

2008년 8월 ETRI로부터 ‘플렉서블 염료감응 태양전지 기술’을 이전 받은 상보가 상용화를 추진 중이다. 그리고 이진창호가 2008년 시제품 개발에 성공했고, KIST와 공동 개발하고 있는 동진세미켄, 우리솔라 등도 상용화를 준비 중이다.

<표 11>과 같이 국내 염료감응 태양전지 기술수준은 선진국 대비 66% 수준으로 평가되며, 특히 설계능력이 부족하고 부품소재의 국산화가 미흡하다.

<표 11> 염료감응 태양전지의 선진국 대비 기술수준

핵심기술		부품소재국산화율(%)		국외 현황	국내 현황	국내 생산업체
		설계	제작생산			
유기 태양전지	염료감응	70	0	- 스위스 EPFL 효율 11.2% - Dyesol(호주) 경우 연 0.5MW 생산설비	- KIST(효율 11%), 화학연, ETRI, 전기연 - 세아티이씨, 나노팩 씨엠에스테크놀로지와 서브모듈 제작기술 개발 중	현재는 없으나 2~3업체 생산가능

<자료>: 에너지관리공단, 2008.

<표 12>와 같이 염료감응형 태양전지 산업의 SWOT 분석을 해보면 우리가 갖고 있는 강점으로는 저자원적 제한이 없는 투입소재, 낮은 기초 투자비 등 경제성이 우수, 저탄소 배출공정, 무독성 소재 사용 등 환경부담이 적은 점 등을 들 수 있다. 세계적 수준의 디스플레이 기술 활용 등 선진국과 대등한 수준의 기술력, 우수한 나노기술 인프라 적용 등이 있다. 약점으로는 실리콘 태양전지보다 효율이 낮음, 기술적으로 아직 미완성, 스위스, 일본 등 선진국과 기술격차 등이 있다. 앞으로의 기회로는 값싼 태양전자의 범용화로 시장 확대, 차세대 태양전지 기술로 세계시장 공략, 유리창호, 선루프 등 다양한 응용제품, BIPV 및 SEV 시장 확대 대응 등이 있다. 위협요인으로는 선진국들의 견제 및 기술이전 회피, 대만 및 중국의 육성전략과 성장, 최근 폴리 실리콘 가격하락으로 c-Si 태양전지와 발전단가 메리트 감소 등이 있다[12].

<표 12> SWOT 분석

강점	약점
<ul style="list-style-type: none"> - 저자원적 제한이 없는 투입소재, 낮은 기초 투자비 등 경제성이 우수 - 저탄소 배출공정, 무독성 소재 사용 등 환경부담이 적음 - 세계적 수준의 디스플레이 기술 활용 등 선진국과 대등한 수준의 기술력 - 우수한 나노기술 인프라 적용 	<ul style="list-style-type: none"> - 실리콘 태양전지보다 효율이 낮음 - 기술적으로 아직 미완성 - 스위스, 일본 등 선진국과 기술격차
기회	위협
<ul style="list-style-type: none"> - 값싼 태양전자의 범용화로 시장 확대 - 차세대 태양전지 기술로 세계 시장 공략 - 유리창호, 선루프 등 다양한 응용제품 - BIPV 및 SEV 시장 확대 대응 	<ul style="list-style-type: none"> - 선진국들의 견제 및 기술이전 회피 - 대만 및 중국의 육성전략과 성장 - 폴리 실리콘 가격하락으로 c-Si 태양전지와와의 발전단가 메리트 감소

<자료>: ETRI, 2009. 6.

V. 결론

염료감응형 태양전지는 식물의 광합성 원리를 나노 소재에 적용한 것으로 빛에너지를 전기 에너지로 변환, 전력을 생산하는 무공해 청정기술이다. 가시광선에도 반응해 전력을 생산하기 때문에 흐린 날이나 실내에서도 발전이 가능하다. 또 저탄소 배출 공정, 무독성 소재 사용 등으로 환경부담이 적은 친환경 태양전지이다. 효율은 낮지만 총 발전량은 실리콘 태양전지와 대등하다는 평가를 받고 있다.

염료감응형 태양전지는 우리나라가 세계 시장을 주도할 가능성이 있는 태양전지 기술이다. ETRI, KIST, 다이솔티모 등 연구소와 기업이 선진국과 대등한 수준의 기술력을 보유하고 있으며 세계적 수준의 디스플레이 기술 및 우수한 나노기술 인프라를 활용할 수 있어 차세대 태양전지 기술로서 세계 시장을 적극 공략할 수 있다[13].

염료감응형 태양전지 기술의 눈부신 발전으로 인해 2010 년을 기준으로 차세대 태양전지는 실리콘 기반에서 염료감응형으로 바뀔 것으로 전망되고 있다.

염료감응형 태양전지의 효율성은 장시간 과학적으로 입증되었고, 문제는 얼마나 소비자들이 쉽게 쓸 수 있는지 ‘엔지니어링’하는 데 달려 있다. 개발(Development)과 산업화(industrializing)을 거쳐 대규모 상용화(Commercializing)를 눈앞에 두고 있는 상황이다.

국내에서는 2009 년 7 월 중에 다이솔티모가 생산설비를 구축하여 시험생산에 성공하였고, 2010 년 상반기 중 상용화가 시작될 예정이다. 다이솔티모가 현재 20 년 이상의 수명을 보장하는 염료감응형 태양전지를 만들 수 있는 안정성까지 확보함으로써 양산기술만 확보되면 전 세계 높은 태양광 수요에 부응할 수 있을 것으로 기대된다[14].

앞으로 연구소와 대학, 기업들은 실험실 수준에서 개발된 기술을 현실화 하는 상용화 양산기술 개발에 주력해서 염료감응형 태양전지 분야의 리더십을 확보해야 할 것이다[15].

<참 고 문 헌>

- [1] 디지털타임스, 2009. 6. 22.
- [2] ‘염료감응형 태양전지’, SK 증권, 2009. 1. 14, p.1.
- [3] ‘태양광 발전시장 동향’, 전자부품연구원, 2007. 11, p.6.
- [4] ‘태양전지 기술 및 시장동향’, 전자부품연구원, 2007.9, p.1.
- [5] ‘염료감응 태양전지의 기술개발 동향 및 시장전망, 관련업체 현황’, KIST, 2009. 5, p.6.
- [6] ‘염료감응형 태양전지’, SK 증권, 2009. 1. 14, p.2.
- [7] ‘태양광시장의 실태와 전망’, 테이코산업연구소, 2009. 5, pp.115-116.
- [8] ‘국내의 태양전지 시장 및 업체 현황’, 하나금융경영연구소, 2008. 8, pp.11-18.
- [9] 전자신문, 2009. 6. 4.
- [10] 디지털타임스, 2009.6.15.
- [11] 머니투데이, 2009.7.15.
- [12] ‘그린하우스 기획보고서’, ETRI, 2009.6, p.38.
- [13] ‘염료감응 태양전지의 기술개발 동향 및 시장전망, 관련업체 현황’, KIST, 2009. 5, p.6.
- [14] 전자신문, 2009. 6. 3.
- [15] 전자신문, 2008. 11. 1.

* 본 내용은 필자의 주관적인 의견이며 IITA 의 공식적인 입장이 아님을 밝힙니다.