

CTO 보고서

태양광 산업과 나노 기술...전극 소재를 중심으로

정혜순

목차

1. 태양광 산업 성장세 둔화 전망
2. 폴리실리콘에 집중되어 있던 소재 분야
3. 폴리실리콘 비중을 낮춘 차세대 태양전지의 등장
4. 높아진 전극 소재의 중요성
5. 나노 기술 활용 기대

요약

< 요약 >

세계 경제 침체에도 불구하고 그린 열풍은 거세다. 미국 오바마 정부의 '그린 뉴딜(Green New Deal)'을 비롯하여 한국의 '저탄소 녹색성장', EU의 '20-20-20 정책(2020년까지 신재생에너지 비율 20% 달성, 온실가스 20% 감축)' 등 정부 주도의 적극적인 움직임은 환경과 경제라는 두 마리 토끼를 한꺼번에 잡겠다는 의도로 풀이되며 그 중심에 신재생에너지가 있다고 해도 과언이 아니다. 이 중 태양광 산업은 독일, 일본 등의 강력한 정책적 지원에 힘입어 이미 신재생에너지 산업의 한 축으로 자리를 잡아가고 있다. 태양광 산업의 Value Chain은 삼각형 구조로 소재 부문의 집중도가 높기 때문에 폴리실리콘 위주로 소재에 대한 논의가 많았다. 그러나 박막 태양전지 등 새로운 태양전지들이 등장함에 따라 폴리실리콘의 중요도는 예전만 못할 것으로 전망된다. 본고에서는 폴리실리콘에 밀려 주목받지 못한 전극 소재에 대해 살펴보고 나노 기술이 이에 미치는 영향에 대해 알아보도록 하겠다.

1. 태양광 산업 성장세 둔화 전망

□ 지난 3년간 높은 성장률을 보이던 태양광 산업의 성장세가 둔화될 것이라는 전망이 지배적임.

○ 2012년까지 연평균 40~50%의 성장률을 보일 것이라 예상했던 기관들이 그 수치를 낮춰 잡고 있음.

- 스위스의 투자은행인 UBS(Union Bank of Switzerland)는 2008~2009년 연간 성장률을 42.2%에서 15.4%로 낮춰 잡았고, 캐나다의 투자은행 CIBC(Canadian Imperial Bank of Commerce)는 44.4%에서 27.2%로 성장세가 둔화된다고 전망하고 있음.
- Gartner는 2008년에서 2013년까지 산업 성장률을 17%로 축소 전망함.

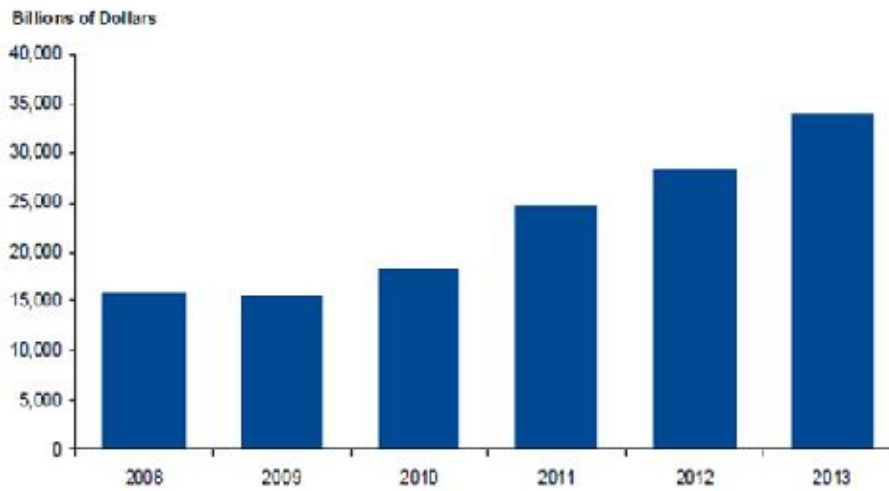
□ 연간 40%가 넘는 성장을 예상했던 태양광 산업이 보수적인 전망으로 돌아선 이유는 무엇일까?

○ Gartner는 연간 40%가 넘는 태양광산업의 성장을 예상했음.

- 연간 40%가 넘는 성장을 예상했던 전망치가 보수적으로 돌아선 이유는 우선 정책적 지원의 축소라고 할 수 있음. 아직까지 경제성이 확보되지 않은 태양광 산업은 정책적 지원이 수요 견인의 가장 큰 동인이었음.

]

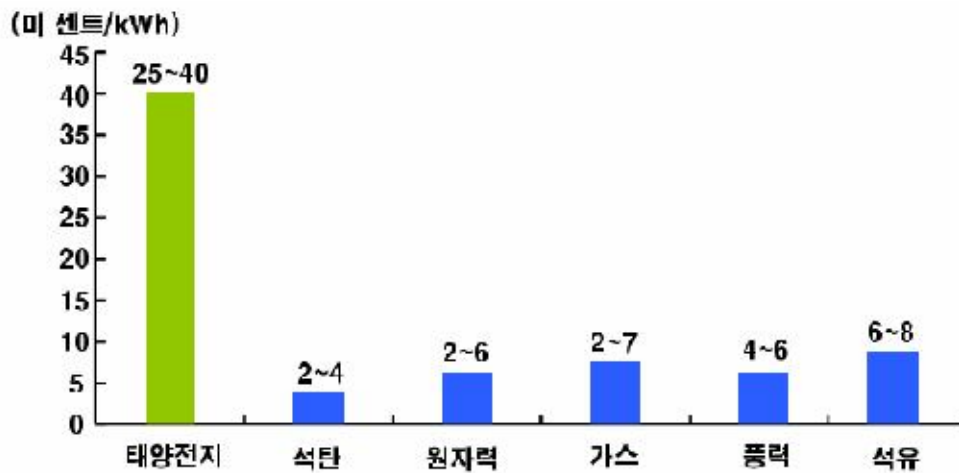
< 태양광 시장 전망 >



자료 : Gartner, 2009년 3월

- 태양광의 발전단가는 다른 에너지원보다 가격 경쟁력이 현저히 떨어짐. 하지만 지금까지는 정부의 지원으로 화석연료 대비 경쟁력 있는 가격을 유지할 수 있었음.

< 전력원별 발전단가 비교 >



자료 : 대우증권 리서치 보고서, 2007

- 세계 태양광 발전의 70% 이상을 차지하고 있는 독일과 일본은 1990년대 부터 태양광 발전 설비에 대한 저리 융자 또는 보조금 지급 및 발전차액

- 지원제도(Feed-in-Tariff)를 통해 태양광 산업의 급격한 성장을 이뤄냈음.
- 스페인 역시 발전차액 지원금이 확대되면서 2006년 110MW(메가와트)에서 2007년 640MW로 400%가 넘는 고속 성장을 하였음.
- 주요 태양광산업 각국의 정책적 지원이 줄어들 전망임.
- 독일과 일본이 지원하던 설치에 대한 보조금 및 저리 대출 등은 각각 2003년, 2005년에 이미 폐지되었고, 발전차액지원 제도 역시 축소하려는 움직임을 보이고 있음.
 - 독일은 발전량이 1MWp 이하일 경우 기존 발전차액 할인율을 5%에서 최대 10%로 높이며 1MWp를 넘는 전력에 대해서는 연 25%의 할인율을 적용한다고 함.
 - 스페인의 정책적 지원 축소는 독일보다 강도가 세어 스페인은 작년 9월 신규 발전 시설의 상한선을 2009년 500MW, 2010년 460MW 수준으로 제한하고, 발전차액지원금도 최대 27%까지 줄인다는 법안을 통과시켰음.
 - 이에 따라 스페인의 2009년 태양광 산업의 수요는 올해 950MW의 절반 수준인 500MW로 내려앉을 것으로 보임. 세계 태양광 시장을 주도했던 독일, 스페인의 태양광 수요 감소시 그 여파가 클 것으로 예상됨.

○ 태양광 산업에 대한 투자 감소

- 미국 발 세계 경제 위기가 가시화됨에 따라 신용 경색 가능성이 높아져 투자를 위한 자본을 확보하는 것이 쉽지 않으며 설령 확보한다 하더라도 높은 이자율에 따른 자본 비용 부담이 클 것으로 예상됨.
- 이에 따라 투자 은행 등 기관 투자자들은 대규모 태양광 프로젝트에의 자본 투입을 중지하거나 연기할 가능성이 높아졌음.
- 신용 경색의 여파로 투자가 위축되는 상황에서 단기적으로 수익을 낼 수 있는 사업이 아닌 투자회수기간이 긴 태양광 사업에 대규모의 투자를 하는 것은 부담이 크기 때문임.

- 자본 비용의 증가 역시 투자의 발목을 잡음
 - 유럽의 경우 태양광 사업 자금 조달은 80% 이상의 은행 대출로 이루어지기 때문에 신용 경색에 따른 유동성 하락 및 금리 인상은 자본 비용의 증가로 이어짐.
 - 자본 비용의 증가는 수익성 악화, 더 나아가서는 설비 투자의 지연을 초래할 것임.
 - 증가된 자본 비용은 태양광 발전원가에 고스란히 전가되기 때문에 수익성은 악화될 것이며 이에 따라 태양광 산업에 대한 불확실성이 증가하여 태양광 설비 투자는 줄어들 것으로 예상됨.

2. 폴리실리콘에 집중되어 있던 소재 분야

□ 폭발적으로 성장한 태양광 시장은 주로 결정형 실리콘 태양전지

- 전체 시장의 90%를 차지하고 있는 결정형 실리콘 태양전지의 주 원료는 폴리실리콘인데 과거 5년간 세계적으로 7개 업체가 과점 체제를 형성하여 공급 부족 상황까지 초래하게 되었음.
 - 결국 폴리실리콘 공급량이 태양광 시장을 결정하는 요소가 되었으며, 뿐만 아니라 태양광 전지 모듈의 경우 공장 증설이 폴리실리콘보다 용이하고 신규 업체의 진입 장벽이 낮기 때문에 2005년 이후 연평균 45% 이상의 신증설이 이루어졌음.

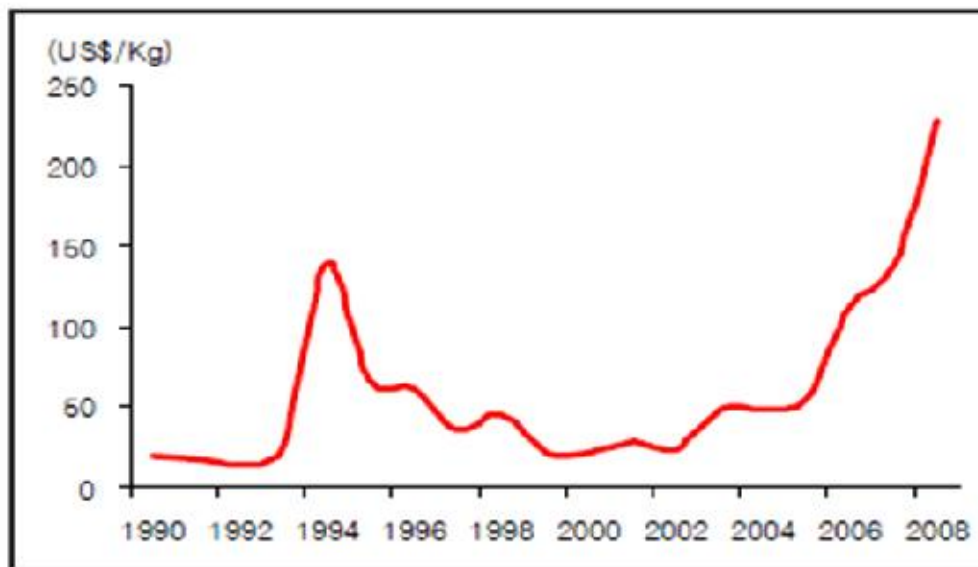
□ 폴리실리콘의 지속적인 가격 상승

- 폴리실리콘 가격은 2005년 이후 지속적으로 상승하여 2008년에는

스팟 가격 기준으로 kg당 400 달러를 훌쩍 뛰어넘게 되었고, 2008년 상반기까지는 폴리실리콘의 공급 부족으로 태양광 전체 산업에서의 가치가 폴리실리콘업체에 집중되는 경향을 보였음.

- 이러한 이유들 때문에 폴리실리콘을 제외한 다른 소재에는 별 관심을 두지 않았던 것이 현실임.

< 연도별 폴리실리콘 가격 추이 >

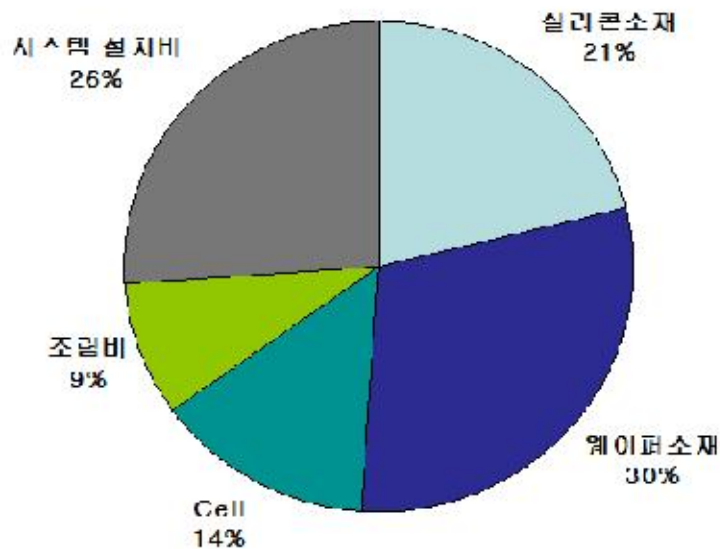


자료 : KITA, 폴리실리콘(규소함량이 99.99% 이상인 것)

3. 폴리실리콘 비중을 낮춘 차세대 태양전지의 등장

- 폴리실리콘의 수급 문제가 지속되자 실리콘을 적게 사용하거나 아예 사용하지 않는 태양전지 쪽으로 눈길을 돌리고 있음.
- 실제로 결정형 실리콘 태양전지의 원가 비중을 살펴보면 실리콘 소재가 21%, 웨이퍼 소재가 30% 수준을 차지하고 있음.

< 태양광 발전 시스템 원가 비중 >



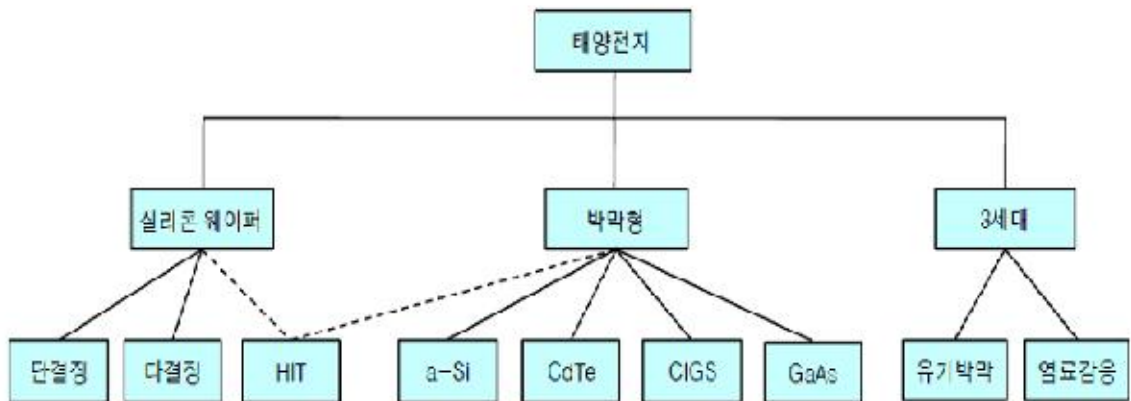
자료 : SEMICON Europa, 2006

- 고가의 원재료 비용 절감이 원가 절감의 핵심이 되고 있음. 원재료비 절감 노력은 크게 기존 기술 보완과 차세대 태양전지 개발로 나뉘어 진행되고 있음.

□ 대체 기술 및 신형 태양전지의 개발

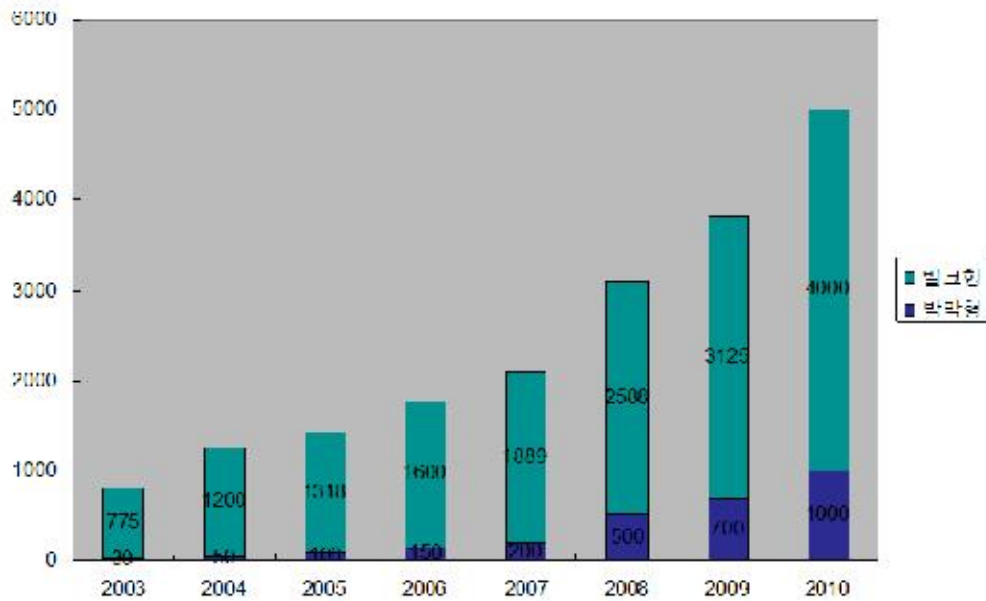
- 기존 기술 보완의 경우 변환효율을 높이고 실리콘 웨이퍼 기판을 박형화하는 방법, 규모의 경제와 공정자동화를 통한 원가 절감 방법 등이 모색되고 있음.
- 차세대 전지 개발에서는 박막형 태양전지, 화합물 태양전지 등 신형 태양전지 등이 주목받고 있음.

< 태양전지 계통도 >



- 우선 박막형 태양전지란 실리콘 웨이퍼가 아닌 유리 등 저가 기판에 태양광을 흡수하는 박막을 증착하는 것을 말함.
- 박막형은 결정질 실리콘 태양전지에 비해 변환효율이 낮고 재료비가 적게 들지만 설비투자비가 높고 아직까지 신뢰성이 검증되지 않은 단점 때문에 상용화가 미루어졌음.
- 하지만 폴리실리콘 공급 부족으로 다시 관심을 받기 시작했고 EPIA(유럽 태양광 산업 연합)에서는 2010년 20%의 비중을 차지할 것으로 전망하고 있음.

< 박막형 확산에 대한 전망 >



자료 : EPIA, 2008

- 박막형 뿐만 아니라 3세대 태양전지 기술로 평가되는 염료감응형 태양전지 등도 주목을 받고 있음.
- 염료감응형 태양전지란 광합성원리를 응용한 유기반도체 태양전지로 최근 삼성에서 BIPV(Building Integrated Photovoltaic System)용으로 선보이기도 했음.

4. 높아진 전극 소재의 중요성

□ 폴리실리콘의 비중을 낮춘 태양전지들이 속속 등장

- 폴리실리콘의 비중을 낮춘 태양전지들이 속속 등장함에 따라 폴리실리콘에 가려져 빛을 받지 못한 전극 소재가 주목을 받기 시작했음.

□ 태양전지 전극의 정의는?

- 태양전지 전극은 태양전지 셀에서 발생한 전자를 외부 회로로 흐르게 해 전류가 발생하게 하는 일을 하며, 은 및 알루미늄 페이스트 등의 소재를 사용해 셀의 전후면에 형성함.

- 결정형 실리콘 태양전지의 경우 폴리실리콘의 비중이 높아 전극 소재의 비중은 미미했으나, 박막형 및 3세대 태양전지의 가능성이 확대되면서 폴리실리콘의 비중이 줄어 전극 소재의 비중이 확대되고 있는 상황임.
 - 결정형 실리콘 태양전지의 전면에 부분적으로 생성되었던 전극이 박막형에서는 투명전극으로 전면에 전체적으로 적용되어 그 비중이 더욱 확대될 것으로 보임.
 - 박막형이 되면서 전후면에 전체적으로 전극을 형성하게 됨.

- 염료감응형 태양전지의 경우, 염료를 흡착할 수 있는 전극 소재는 띠탄 격 에너지가 큰 반도체 나노결정(직경 15~20nm) 산화물을 사용함.
 - 나노 크기의 물질을 사용하는 이유는 입자 크기 감소에 의한 비표면적 증가로 보다 많은 양의 광감응 염료분자를 흡착시킬 수 있기 때문임.
 - 입자의 크기가 수 나노미터 이하로 지나치게 작게 되면 염료 흡착량은 증가하지만, 반면에 표면상태 수가 증가하여 재결합 자리를 제공하게 되는 단점도 가지고 있음.

< 태양전지 종류별 전극 위치 >

Solar Cell 제조방식별 분류			
	구조	특징	과제
c-Si		200~300 μ m, 14~17% 높은 Si 사용량 고효율	Si 공급 안정화 Si 사용량 저감
a-Si (Thin Film)		0.5~1 μ m, 6~8% Si 사용량 획기적 감소 저가, 투명화, 다면적화 계산기 등 가전 사용	효율 증대(저효율부 저가제조 어렵 상태) 초고효율감소 극복
Compound (Thin Film)		2~3 μ m, 10~12% Si 필요 없음 경량, 슬림	Cost, 효율 증대 생산 안정화
Thin Film Tandem (Thin Film, 차세대)		2~3 μ m, 9~11% Si 사용량 획기적 감소 Bendable, 투명화, 경량, 슬림	Cost, 효율 증대 생산 안정화
Dye-Sensitized (차세대)		Si 필요 없음, 1~10% 저효율 차세대 기술	Cost, 효율 증대 생산 안정화

* a-Si : Crystalline Silicon(결정질실리콘), a-Si : Amorphous Silicon(비결정질실리콘), 주요 기업 필요안여 효율은 저용까지 기록된 최고 효율
* MHI : Mitsubishi Heavy Industries

자료 : 업계 자료

□ 태양광 산업의 성장에 따른 국내 업체 참여

- 태양전지의 전극 시장은 듀폰, 페로 등 해외 재료 업체들이 장악하고 있었지만 태양광 산업의 성장에 따라 LG화학, 동진세미켐 등 국내 업체도 잇따라 뛰어들고 있는 상황임.

□ 세계 태양전지 전극 시장 2012년 2조 5000억원 전망

- 태양광 산업 전문 리서치 업체인 포톤 인터내셔널에 따르면 2008년 세계 태양전지 전극 시장 규모는 4877억원으로 추산되고 있음.
- 태양광 발전 규모가 현재의 5배 정도인 33.6GW로 늘어나는 2012년엔 2조 5000억원에 이를 것으로 전망하고 있음.
- 블룸버그에서는 폴리실리콘의 매출액 증가율과 영업이익률도 뛰어넘을 것으로 전망하고 있음.

< 공급 사슬별 주요업체 및 매출, 이익 성장 추이 >

	폴리 실리콘	결정형 셀/모듈	결정형 장비	박막형 모듈	박막형 장비	기타 소재
주요 업체	Wacker, REC, MEMC, OCI	Q-Cell Solar World, Sun Tech, Sun Power. Yingli	GT Solar, Roth & Rau, Centrotherm	First Solar, Energy Conv.	Oerlikon, App. Mat. ULVAC	Dupont, Air Liquide, SMA Solar
2008-2010E 매출액증가율	5.0	9.0	21.0	42.0	n/a	12.0
2007-2008 영업이익률	30.0	16.4	15.1	12.6	21.7	15.1
2009E-2010E 영업이익률	15.1	14.0	15.1	24.3	0.7	15.4

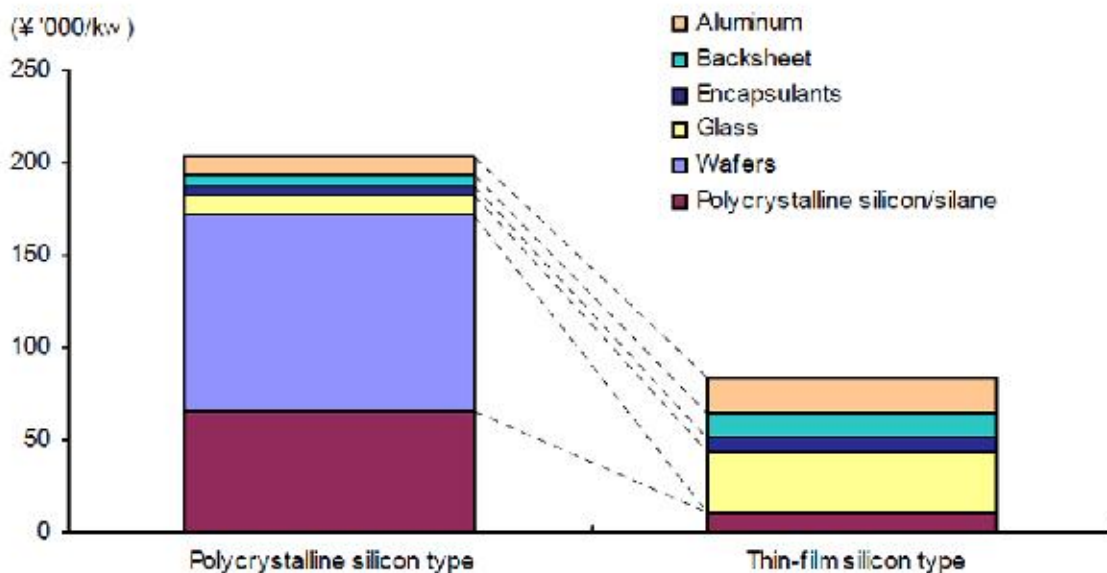
자료 : 블룸버그

5. 나노 기술 활용 기대

- 나노 기술은 차세대 박막형, 염료감응형 태양전지에 널리 사용

- 나노 기술은 결정형 실리콘 태양전지보다는 차세대 기술로 각광받고 있는 박막형, 염료감응형 태양전지에 널리 사용될 것으로 보임.
- 이 시장은 폴리실리콘의 공급 부족으로 급격히 성장할 것으로 기대되며, 뿐만 아니라 결정형 실리콘 태양전지의 원가 구조 중 많은 부분을 차지했던 웨이퍼와 실리콘의 비중이 줄어들어 따라 Aluminum 전극 재료의 원가 비중이 점점 커질 것으로 판단됨.

< 종류별 원가 구조, 결정질 vs 박막형 >



자료 : Nomura

□ 박막형으로 발전함에 따라 투명전극은 필수적인 요소

- 결정형 실리콘 태양전지의 경우 투명전극을 사용하지 않았지만 박막형으로 발전함에 따라 투명전극이 필수적인 요소가 되었음.
- 그러나 투명전극은 고가의 진공장비를 사용해야 하고 소재 또한 한정적이어서 투명전극이 코팅된 기판의 가격이 전체 태양전지 제조비용의 90%를 차지하고 있는 실정임.

□ 투명전자잉크의 개발

- 투명전극의 효율을 높이기 위해 우리나라의 한 업체(잉크탱크)에서는 바인더를 사용하는 기존의 방식을 탈피해 특수 은 착체 화합물 (silver complex compound)을 이용한 투명전자잉크를 개발하는데 성공했음.
 - 개발된 투명전자잉크는 입자개념이 없고 투명하고, 안정성이 뛰어나며 균일한 박막 형성이 이뤄져 적은 은 소모량만으로도 전도성이 높아지는 결과를 냈음.
- 업계의 전문가에 의하면, 투명전자잉크기술을 통해 대형 디스플레이 영역에서 기존의 복잡한 에칭(식각)공정을 단순한 프린트 공정으로 대체할 수 있다고 함.

□ 나노기술 적용

- 입자가 나노크기로 줄어들면 기존의 마이크로 단위의 벌크 및 박막에서 볼 수 없었던 특성이 나타나는데, 대표적인 것이 입자 사이즈가 작아짐에 따라 물질의 밴드갭(band gap)이 증가되는 현상임.
 - 나노 사이즈 효과를 이용하면 입자 크기에 따라 다양한 밴드갭을 가진 광흡수층을 제조할 수 있으므로 적층형 태양전지를 보다 쉽게 만들 수 있음.

□ 3세대 태양전지로 각광받고 있는 염료감응형 태양전지에서 나노 기술은 필수

- 상대전극의 경우 전해질을 환원할 수 있는 촉매제 역할과 전지로서의 역할을 수행할 수 있는 에너지 전위를 만족해야 하는 조건으로 인해 주로 백금이 이용되었음.

□ 탄소나노튜브 기술 적용

- 한국전기연구원에서는 상대전극을 탄소나노튜브나 나노카본으로 대체하는 기술을 개발하였음.
 - 탄소나노튜브는 높은 전기전도도를 갖는 소재이며 백금에 비해 훨씬 싸게 이용할 수 있다는 장점이 있음.
 - 향후 염료감응형 태양전지에 국한되지 않고 전극 재료로써 여러 응용 소자에 사용할 수 있을 것으로 기대하고 있음.
- 탄소나노튜브를 활용할 경우 빛 투과는 물론 가격경쟁력도 우수함.
 - 현재 실리콘 소재를 활용한 태양전지가 일부 상용화되고 있지만 빛을 투과하지 못하고 가격도 상대적으로 비싸지만 탄소나노튜브를 활용할 경우 빛 투과는 물론 가격도 5분의 1 수준으로 경쟁력을 갖고 있다고 함.
 - 또한 에너지 효율을 더 높이는 연구를 진행하면 고유가와 지구 온난화에 따른 에너지 문제를 해결하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대하고 있음.

<참고 문헌>

- 동부증권, "Green Growth", 2009
- 양성진, "태양광산업 지속성장 문제없다", LG경제연구소, LG Business Insight, 2008.11
- 이동윤 등, "광전기화학형 염료감응형 태양전지 기술", 2007
- Masamichi Ishikawa, "나노테크놀러지 & 비즈니스", 2005
- "Solar Cell Materials", Nomura, 2008
- "Forecast: Solar Cell Market Is a Ray of Light Amid the Storm Clouds", Gartner, 2009