

# 박막 태양전지 시장전망 및 기술개발 동향

A Study on the Market and Technology Development Trends of  
Thin Film Solar Cells

전황수 (H.S. Chun)    기술경제1팀 책임연구원  
김제하 (J.H. Kim)    박막태양광기술연구팀 팀장  
허필선 (P.S. Heo)    기술경제1팀 연구원

## 목 차

- .....
- I. 서론
  - II. 기술 개요
  - III. 시장 동향
  - IV. 해외 기술개발 동향
  - V. 국내 기술개발 동향
  - VI. 시사점

박막 태양전지(Thin Film Solar Cells)는 기존의 결정질 실리콘 태양전지와는 달리 유리 등 저가의 기반을 활용하고 표면에 박막으로 실리콘 등 재료를 증착시킨 2세대 태양전지이다. 그동안 변환효율이 실리콘형보다 낮아 건물 외벽이나 기둥 등 일부 용도에만 사용이 국한되었다. 그러나 최근 들어 제조과정에 에너지가 적게 소모되어 짧은 기간 내에 투자비용을 회수할 수 있고, 소재비용도 대폭 줄일 수 있는 등 뛰어난 경제성으로 인해 태양전지 업체들이 투자를 늘리고 신규업체가 진입하는 등 박막 태양전지가 유망 태양전지 아이টে็ม으로 부상하고 있다.

## I. 서론

박막 태양전지(thin film solar cells)는 결정질 실리콘 전체를 태양광 흡수기관으로 쓰는 기존 형태와는 달리 유리 등 저가의 기반을 활용하고 표면에 박막으로 실리콘 등 재료를 증착한 대표적인 2세대 전지이다.

1세대인 벌크형 결정질 실리콘 태양전지와는 달리 실리콘보다 저렴하고 면적이 넓은 유리, 얇은 금속판, 플라스틱 등을 기관으로 사용하여 태양전지를 구성하는 물질을 수 마이크로 두께의 박막으로 증착하여 제조한다. 그러나 변환효율이 실리콘형 보다 낮아 현재는 건물 외벽이나 기동 등 일부 용도로만 사용이 제한된다.

최근 들어 기존의 결정질 실리콘 태양전지가 기술의 안정성, 높은 변환효율에도 불구하고 경제성 확보가 어려워지자 이에 대한 대안으로 박막 태양전지가 급부상하고 있다. 박막 태양전지 산업은 현재 시장형성 초기단계에 불과하지만 제조과정에 에너지가 적게 소모되어 소재비용을 1/100로 줄일 수 있고, 짧은 기간 내에 투자비용을 회수할 수 있으며, 소재비용도 대폭 줄일 수 있는 등 뛰어난 경제성과 손쉽게 대면적화 할 수 있는 제조공정의 혁신적인 절감 가능성이 가까운 장래에 결정질 실리콘 태양전지와 일정부분 경쟁구도를 형성할 전망이다. 미국, 일본, 독일 등의 선진국에서 결정질 실리콘 태양전지 생산업체들도 점차 박막 태양전지 투자를 강화하는 방향으로 나가고 있다[1].

박막 태양전지 시장은 2008년 기준으로 0.9 GW 수준에 머물러 있지만 효율 향상과 가격경쟁력을 바탕으로 2015년 8 GW 규모로 크게 늘어날 전망이다. 박막 태양전지의 시장 점유율은 2008년 13%에서 2015년 30%로 확대될 것으로 예상되고 있다.

박막 태양전지 분야는 전 세계적으로 아직 산업화 초기 단계로 후발주자인 우리나라가 승산이 높은 분야이다. 박막 태양전지 제작방식이 디스플레이나 LED 등과 같은 반도체 IT 기술과 유사하여 이 분야

에 세계 최고의 기술수준을 보유한 우리나라가 업체와 연구소 등이 협력체제를 구축하여 기술개발을 촉진하면 단시일 내에 차세대 박막 태양전지 기술 및 시장 경쟁력을 확보할 수 있다[2].

본 고에서는 박막 태양전지의 시장전망과 국내외 기술개발 동향을 중심으로 분석하고 우리에게 주는 시사점을 도출하고자 한다.

## II. 기술 개요

박막 태양전지는 <표 1>에서 보듯이 a-Si, CIGS/CIS, CdTe 등 세 가지로 분류된다. a-Si는 비정질 실리콘을 유리기관 사이에 주입해 만드는데, TFT-LCD 생산기술을 기반으로 하고 있고 가장 일반적 재료이면서 인체 유해성이 없는 실리콘을 기반으로 하고 있어 차세대 전지로 각광받고 있다.

CIGS/CIS는 화합물 기반의 박막 태양전지로 구리, 인듐, 갈륨, 셀레늄 화합물을 사용한다. 원재료인 인듐은 LCD 제조의 원재료에도 사용되고 있어 최근 공급부족에 따른 가격급등으로 공급문제가 이

### ● 용어 해설 ●

**a-Si 박막 태양전지:** a-Si는 비정질 실리콘을 유리기관 사이에 주입해 만드는데, TFT-LCD 생산기술을 기반으로 하고 있고 가장 일반적 재료이면서 인체 유해성이 없는 실리콘을 기반으로 하고 있어 차세대 전지로 각광받고 있다. 기술적 안정성, 공정구현 용이, 다양한 기관 가능 등의 장점이 있으나 전환효율이 낮은 단점이 있다. 샤프, 미쓰비시중공업, United Solar 등이 활발히 기술개발을 추진하고 있다.

**CIGS 박막 태양전지:** 화합물 기반의 박막 태양전지로 구리, 인듐, 갈륨, 셀레늄 화합물을 사용한다. 원재료인 인듐은 LCD 제조의 원재료에도 사용되고 있어 최근 공급부족에 따른 가격급등으로 공급문제가 이슈가 될 전망이다. 전환효율이 10~13%로 가장 높으나 제조공정이 복잡하여 향후 양산화 구현이라는 과제가 남아 있다.

**CdTe 박막 태양전지:** 화합물 기반 박막 태양전지로 카드뮴, 텔루라이드 화합물을 사용한다. 제조비용이 저렴하다는 장점이 있으나 카드뮴은 희소원료로 태양전지를 대량생산하는 것이 곤란하며, 공해를 유발하는 문제점을 안고 있다.

〈표 1〉 박막 태양전지의 종류

구분	a-Si	CIGS/CIS	CdTe
내용	- 비정질 실리콘을 유리 기판 사이에 주입해 만들 - TFT-LCD 생산기술을 기반으로 하고 있고 가장 일반적 재료이면서 인체유해성이 없는 실리콘을 기반으로 하고 있어 차세대 전지로 각광	- 화합물 기반의 박막 태양전지로 구리, 인듐, 갈륨, 셀레늄 화합물 사용 - 원재료인 인듐은 LCD 제조의 원재료에도 사용되고 있어 최근 공급부족에 따른 가격급등으로 공급문제가 이슈가 될 전망	- 화합물 기반 박막 태양전지로 카드뮴, 텔루라이드 화합물사용 - 카드뮴은 희소원료로 태양전지 대량생산 곤란, 공해 유발
효율(상업용)	5~9%	10~13%	7~11%
효율(연구소)	> 12%	> 19%	> 16%
생산공정	보통	가장 복잡	비교적 단순
원재료비	보통	낮음	낮음
환경리스크	낮음	보통	가장 높음
휘어지는 기판에의 적응성	비교적 용이	매우 어려움	약간 어려움
장점	- 기술적 안정성 - 공정구현 용이 - 다양한 기판 가능	- 전환효율 높음	- 제조비용 저렴
단점	전환효율 낮음	제조공정 복잡	카드뮴 등 독성물질
과제	Tandem, Triple 구조로 효율 제고	양산화 구현	대면적화
대표업체	샤프, 미쓰비시중공업, United Solar	Nano Solar, Scheuten	First Solar, ANTEC Solar

〈자료〉: IITA(2009. 5.), 산은경제연구소(2009. 6.), Credit Suisse(2008. 3.)

〈표 2〉 결정질 실리콘 태양전지와 박막 태양전지 비교

항목	결정질 실리콘 태양전지	박막 태양전지
에너지 변환효율	고효율(15~17%)	약간 낮음
제조비용	2.77~2.96달러/W (단결정 2.96달러, 다결정 2.77달러)	1.35~1.85달러/W (a-si 1.85달러, CdTe 1.35달러, CIUS/CIGS 1.75달러)
장기신뢰성	입증	결정질 실리콘에 근접
원재료 사용량	두께: 250~300 $\mu$ m	두께 < 2~3 $\mu$ m
공정	단속적, 공정단계 많음	연속 대량생산 적합
공장 에너지 사용량	고온 공정	저온 공정
기술표준화	달성	미달성
초기 설비투자비	낮음	높음
외관	건물 적용시 일체감 부족	외관 미려, 기판에 따라 다양한 형태 가능

〈자료〉: 산은경제연구소(2009. 6.), KIEA(2008.)

슈가 될 전망이다. 전환효율이 10~13%로 가장 높으나 제조공정이 복잡하여 향후 양산화 구현이라는 과제가 남아 있다[3].

CdTe는 화합물 기반 박막 태양전지로 카드뮴, 텔루라이드 화합물을 사용한다. 제조비용이 저렴하다는 장점이 있으나 카드뮴은 희소원료로 태양전지를 대량생산하는 것이 곤란하며, 공해를 유발한다는 문제점을 안고 있다.

〈표 2〉에서 보듯이 박막 태양전지는 에너지 변

환효율이 낮고 초기 설비투자비가 높으며, 기술표준화를 달성하지 못했다는 단점이 있다. 그러나 에너지 사용량이 저온공정으로 제조비용이 저렴하고, 장기신뢰성도 결정질 실리콘에 근접하고 있으며 연속 대량생산이 가능하며 외관이 미려하고 다양한 형태가 가능하다[4].

박막 태양전지는 세계적으로 아직 산업화 초기단계로 대외경쟁력을 확보하기가 보다 용이하고 IT 기술을 기반으로 하기 때문에 우리나라가 보유하고 있

〈표 3〉 박막 태양전지 기술의 국산화율과 기술수준 비교

기술 (비중)	기술 국산화율(%)		해외대비 기술수준(%)	국내생산업체
	설계	생산		
기판(11)	80	70	70	없음(기술개발중)
비정질실리콘 박막 태양전지(44)	70	40	50	한국철강(주성엔지니어링 Turnkey line)
CIGS 태양전지(20)	50	15	55	없음(기술개발중)
염료감응형 태양전지(10)	90	3	93	없음(기술개발중)
평균(100)	69	30	60	-

〈자료〉: KNREC, 태양광 전문위원회, 2008. 10.

는 반도체 및 디스플레이 기술을 활용하면 짧은 시 일 내에 차세대 박막 태양전지 기술 및 시장 경쟁력을 확보할 수 있다[5].

〈표 3〉에서 보듯이 국내 박막 태양전지 기술력은 선진국 대비 60%대에 불과하지만, 세계시장의 90% 이상을 차지하는 결정질 및 아몰퍼스 박막 태양전지 분야에서 강력한 제조능력과 원가경쟁력으로 반도체와 LCD처럼 잠재력을 지니고 있다[6].

### Ⅲ. 시장 동향

#### 1. 업체 동향

〈표 4〉에서 보듯이 2008년 박막 태양전지 업체의 시장점유율을 보면 미국의 First Solar가 36.9%

〈표 4〉 주요 박막 태양전지 업체의 시장 점유율 (단위: %)

순위	기업	2007년 점유율	2008년 점유율
1	First Solar(미국)	29.3	36.9
2	United Solar(미국)	12.2	7.8
3	가네카실리콘 PV(일본)	9.8	4.3
4	미쓰비시중공업(일본)	3.7	3.9
5	Wuerth Solar(독일)	3.7	2.0
6	쇼와셀석유(일본)	2.4	1.6
7	Global Solar(미국)	1.0	1.4
8	샤프(일본)	3.7	1.2
9	후지전기(일본)	2.4	1.2
10	혼다솔텍(일본)	-	1.1
	기타	32.0	38.7
	합계	100	100

〈자료〉: 후지카메라, 2009. 3.

로 1위, United Solar가 7.8%로 2위, 일본의 가네카 실리콘 PV가 4.3%로 3위, 미쓰비시중공업이 3.9%로 4위, 독일의 Wuerth Solar가 2.0%로 5위를 기록하는 등 1위부터 10위까지 미국, 일본, 독일업체가 시장을 석권하고 있다[7].

〈표 5〉에서 보듯이 세계 주요 a-Si 태양전지 업체들 중에서 효율은 샤프가 8.5%로 가장 뛰어나고 다음으로 United Solar와 미쓰비시중공업이 8.3%를 기록하고 있다. 기판은 United Solar가 금속(플렉시블)을 사용하고 있는 반면, 가네카실리콘 PV, 샤프 등 대다수 업체들은 유리 기판을 사용하고 있다. 후지전기와 PowerFilm Solar, Flexcell은 플라스틱을 사용하고 있다.

CIGS 박막 태양전지 업체들 중에서 효율은 Wuerth Solar GmbH가 11.5%로 가장 좋고, 다음으로 Avancis 11%, Solibro GmbH 10.5%의 순이다. 기판은 Wuerth Solar GmbH, 쇼와셀석유, 혼다솔텍, Avancis, ISET 등이 유리를 사용하고 있는 반면, Global Solar, Ampulse, Nanosolar, Miasole 등은 금속을 사용하고 있다. Ascent Solar와 Solarion GmbH, Flisom은 플라스틱(플렉시블)을 사용한다. 제조공정은 sputter & selenization, multi-source evaporation, roll-to-roll 등을 많이 채택하나 CVD는 거의 쓰지 않고 있다.

주요 CdTe 태양전지 업체 중에서 First Solar가 10.6%로 가장 효율이 뛰어나고 Calyxo GmbH는 7%, Antec Solar Energy는 6.9%를 기록하고 있다. 모든 업체가 기판으로 유리를 사용하고 있다. 제조공정은 CVD, high-rate, continuous process, printing & sintering, AVA belt 등을 채택하고 있다[8].

〈표 5〉 박막 태양전지 업체 현황

기업명	기술	효율	기판	제조공정
United Solar(미국)	a-Si(3)	8.3	금속(플렉시블)	Plasma CVD, roll-to-roll
가네카실리콘 PV(일본)	a-Si	6.3	유리	CVD
샤프(일본)	a-Si/ucsi	8.5	유리	TEL PECVD
미쓰비시중공업(일본)	a-Si/ucsi	8.3	유리	PECVD
후지전기(일본)	a-Si	6	플라스틱(플렉시블)	roll-to-roll
Bangkok Solar(태국)	a-Si(2)	5.1	유리	CVD
Ersol Thin Film GmbH(독일)	a-Si	6	유리	Oerlicon CVD
Soltech(중국)	a-Si	4.9	유리	CVD
Shenzhen Trony Solar(중국)	a-Si	5	유리	CVD
Sinonar(대만)	a-Si	유리	유리	CVD
산요솔라(일본)	a-Si	다양	다양	PECVD
Shenzhen Topray Solar(중국)	a-Si(2)	7	유리	CVD
Energy Photovoltaics(EPV: 미국)	a-Si & CIGS	6	유리	EPV CVD batch process
Schott Solar GmbH	a-Si	6	유리	Oerlicon CVD
PowerFilm Solar(미국)	a-Si	5	플라스틱(플렉시블)	CVD, roll-to-roll
Tianjin Jinneng Solar Cell(중국)	a-Si(2)	5.5	유리	CVD
ICP Solar(캐나다)	a-Si & CIGS	4.5	다양	CVD
Free Energy Europe(프랑스)	a-Si	5	유리	CVD
Flexcell(VHF Technologies SA: 스위스)	a-Si	5.5	플라스틱(플렉시블)	PECVD low temperature
Shenzhen Sunoncle(중국)	a-Si	5	유리	CVD
Harbin Hopeful Star(중국)	a-Si	5	유리	CVD
Moser Baer(인도)	a-Si	6.5	유리	AMAT CVD
QS Solar(중국)	a-Si	6	유리	CVD
Best Solar(중국)	a-Si	6.5	유리	AMAT CVD
Wuerth Solar GmbH(독일)	CIS	11.5	유리	multi-source evaporation
쇼와셀렉유(일본)	CIS	9.48	유리	sputter & selenization
Johanna Solar(독일)	CIGSSe	-	유리	sputtering & chemical bath deposition
Global Solar(미국)	CIGS	10	금속(플렉시블)	coevaporation, roll-to-roll
혼다솔텍(일본)	CIS	-	유리	sputtering, PVD
Sulfurcell(독일)	CI Sulfide	6.1	유리	sputtering, monolithic integration
Avancis(독일)	CIS	11	유리	sputtering & selenization
Scheuten Solar(네덜란드)	CIS	4.4	glass beads on metal	bulk process, roll-to-roll
Oderson(독일)	CIS	10	유리	roll-to-roll
International Solar Electric(ISET; 미국)	CIS	-	유리	non-vacuum approach
InterPhases Resaerch(미국)	CIS	-	금속(플렉시블)	roll-to-roll electroplating process
Ampulse(미국)	CIS	-	금속(플렉시블)	-
Shandong Sunvim Solar(중국)	CIGSSe	-	유리	sputtering & chemical bath deposition
Nanosolar(미국)	CIGS	9	금속(플렉시블)	printing, rapid thermal processing
Miasole(미국)	CIGS	9.5	금속(플렉시블)	sputtering, PVD & roll-to-roll
Ascent Solar(미국)	CIGS	9.5	플라스틱(플렉시블)	roll-to-roll & monolithic integration process
HelioVolt(미국)	CIGS	10	유리	printing, rapid, low temperature
Solibro GmbH(독일)	CIGS	10.5	유리	sputtering, PVD
SoloPower(미국)	CIGS	7.7	금속(플렉시블)	patented electrochemical process, roll-to-roll

(뒷장에 계속)

(계속) <표 5> 박막 태양전지 업체 현황

기업명	기술	효율	기판	제조공정
DayStar Technologies(미국)	CIGS	10	유리	sputtering, one-step deposition process
Solarion GmbH(독일)	CIGS	-	플라스틱(플렉시블)	roll-to-roll process
Flisom(스위스)	CIGS	-	플라스틱(플렉시블)	roll-to-roll & deposition
Solyndra(미국)	CIGS	-	유리	sputtering
Nanowin(대만)	CIGS	-	유리	CVD
China Nuvo Solar Energy(중국)	CIGS	-	ceramic sleeve	-
Shurjo Energy(인도)	CIGS	-	유리	-
First Solar(미국)	CdTe	10.6	유리	CVD, high-rate, continuous process
Calyxo GmbH(독일 Q-Cells)	CdTe	7	유리	CVD
Primestar Solar(미국 GE)	CdTe	-	유리	CVD
Golden Photon(미국)	CdTe	-	유리	CVD
마쓰시타 배터리(일본)	CdTe	-	유리	printing & sintering or CVD
Canrom(미국)	CdTe	-	유리	CVD
Antec Solar Energy GmbH(독일)	CdTe	6.9	유리	CVD & sputtering
AVA Solar	CdTe	-	유리	air-to-Vacuum-to-Air(AVA) belt
ARENDI SRL	CdTe	-	유리	CVD
Zia Watt Solar	CdTe	-	-	-
Sunovia	CdTe	-	유리	CVD, high-speed, smaller footprint facility

<자료>: 에너지기술연구원, 2009. 4.

## 2. 시장전망

<표 6>에서 보듯이 박막형 태양전지 시장규모는 2008년 18.2억 달러에서 연평균 36%의 성장세로 2013년 84.2억 달러로 성장할 전망이다. 2012년

시장을 보면 a-Si가 44.6억 달러로 가장 크고 CIGS 23.3억 달러, CdTe 13.8억 달러의 순이다[9].

<표 7>에서 보는 바와 같이 박막형 태양전지 생산량은 2009년 기준 a-Si 태양전지 483 MW, CdTe 태양전지 656 MW, CIGS 태양전지 104 MW, DSSC

<표 6> 박막형 태양전지 시장규모 전망

(단위: 백만 달러)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	CAGR ('08-'13)
a-Si	728	1,076	1,696	2,710	3,451	4,467	43.7%
CdTe	923	1,207	1,425	1,503	1,455	1,384	8.4%
GIGS	147	247	694	1,192	1,937	2,334	73.8%
DSSC & Polymer	21	33	65	111	159	242	63.0%
합계	1,819	2,564	3,879	5,516	7,001	8,427	35.9%

<자료>: Displaybank, 2009. 3.

<표 7> 박막형 태양전지 생산전망

(단위: MW)

구분	2008	2009	2010	2011	2012	2013	CAGR ('08-'13)
a-Si	283	483	883	1,644	2,449	3,723	67.4%
CdTe	410	656	853	1,023	1,125	1,237	24.7%
GIGS	52	104	347	728	1,441	2,132	110.2%
DSSC & Polymer	11	20	45	88	145	254	87.4%
합계	756	1,263	2,128	3,483	5,160	7,346	57.6%

<자료>: Displaybank, 2009. 3.

& Polymer 태양전지 20 MW로 총 1,263 MW에 달할 전망이다. 2008년에서 2013년까지 연평균 57.6%의 성장률로 2013년 7.3 MW 생산이 전망되고, CIGS 및 DSSC & Polymer의 고성장이 예상된다[10].

## IV. 해외 기술개발 동향

<표 8>에서 보듯이 미국 태양전지 업체들 중 First Solar는 CdTe를 이용한 박막 태양전지를 생

<표 8> 미국의 박막 태양전지 기술개발 동향

업체 명	기술개발 내용
First Solar LLC	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 화합물계 원료(CdTe)를 이용하여 차세대 박막 태양전지를 생산</li> <li>- First Solar의 연간 태양전지 생산능력은 2007년 기준 210 MW에 이르며 2009년 말에는 570 MW까지 확대할 계획</li> <li>- CdTe 박막형 태양전지 변환 효율은 2007년 9월 기준 10.5%에 이룸</li> <li>- 2007년에 200 MW의 박막 CdTe 태양전지를 출하하면서 전세계 태양전지 제조업체 중에서 5위를 차지하면서 박막 태양전지의 가능성을 보여줌</li> <li>- 2008년에 약 500 MW 이상 박막 CdTe 태양전지를 출하한 것으로 집계되면서 2008년 3위로 등극할 전망, 박막 태양전지의 시장성을 보여줌</li> </ul>
Shell Solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 최근 Siemens Solar를 매입하여 세계적인 태양광 업체로 부상</li> <li>- 태양광발전용 웨이퍼 생산부터 최종 소비자 대상 사업까지 전영역 취급</li> <li>- 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지부터 CIS까지 다양한 형태 전지 생산</li> <li>- CIS형 태양전지 모듈을 상업화한 첫번째 회사로 현재 11%의 변환 효율을 기록</li> <li>- 2007년 Shell Solar의 Si계 태양전지 및 CIS형 태양전지의 생산량은 약 150 MW에 이르는 것으로 추정</li> </ul>
Energy Photovoltaics, Inc(EPV)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 주로 a-Si 태양전지 및 모듈을 생산함</li> <li>- 초기 EPV 솔라의 a-Si 태양전지 모듈의 효율은 5%에 불과했으나 2006년 이후 하이브리드 구조를 채택하면서 안정화 효율은 10%까지 향상됨</li> <li>- 비결정질 실리콘 박막전지의 가격 경쟁력 및 우수한 성능을 앞세워, 유럽업체들과 장기적인 공급 협정을 지속적으로 체결</li> <li>- 2007년 6월 비결정질 실리콘 박막 전지 및 모듈 제조 시설용량을 늘리기 위해 약 7,800만 달러 자금조달하고, 2009년 연 제조능력 85 MW 이상 확대</li> </ul>
Intel	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2008년 7월 독일 박막 태양전지 업체인 Sulfercell에 1억3,370만 달러 투자</li> <li>- 2008년 10월 중국 박막 태양전지 업체 Trony Solar에 2천만 달러 투자하고, 전기저장업체인 NPH에 투자하기로 계약 체결</li> </ul>
IBM	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2008년 6월 TOK(Tokyo Ohka Kogyo)와 제휴했고 15% 이상 효율에 1달러/1 W 이하인 CIGS 박막 태양전지 기술을 개발해 타 업체에 라이선싱하는 계획 발표</li> </ul>

<자료>: 하나금융경영연구소, “국내의 태양전지 시장 및 업체 현황,” 2008. 6. 4.

<표 9> 일본의 박막 태양전지 기술개발 동향

기관	기술개발 동향
샤프	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1959년 태양전지 사업을 시작, 1962년 세계 최초로 태양전지를 상용화</li> <li>- 미에현 가메야마 제2공장 5,210 kW 용량 세계 최대 태양광발전시스템 설치</li> <li>- 1990년대에는 BP Solar(영), 교세라(일), 샤프가 비슷한 수준이었으나 2000년 이후 샤프가 7년 연속 생산량 1위 기록</li> <li>- 사업개시 이후 적자가 지속되었으나 2003년 이후 흑자로 전환</li> <li>- 경쟁력 제고를 위해 수직계열화, 생산능력 확대, 신제품 개발 등을 추진</li> <li>- 차세대 태양전지 생산을 위해 2010년 연간 1 GW의 박막 태양전지 생산공장 건립 계획; 변환효율에서도 세계 최고 수준인 9%를 달성했으며 박막 태양전지의 연 생산능력을 600만 kW까지 높일 계획</li> </ul>
도레이	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2009년 3월 유기박막형으로 세계최고 변환효율 실현, 2015년 상용화 목표진입</li> <li>- 지금까지 유행이 주체였던 재료에 질소를 가하여 빛을 비출 때 생기는 전압을 높이는 것 외에 얻어지는 전자를 쉽게 모을 수 있음</li> <li>- 신재료를 사용한 5 mm 각의 태양전지 시제품 제작</li> <li>- 변환효율은 5.5%에 달했는데, 이는 종래에 비해 0.4% 효율 제고</li> <li>- 신재료를 더욱 개량하면 변환효율이 실용레벨의 7%까지 향상할 전망</li> <li>- 효율을 더욱 높여 휴대기기용의 전원으로써 실용화할 계획</li> </ul>

(뒷장에 계속)

(계속) <표 9> 일본의 박막 태양전지 기술개발 동향

기관	기술개발 동향
미쓰비시 화학	- 유기물 박막을 사용하는 유기 태양전지 사업화를 추진: 실리콘계 보다 얇고 저비용 생산 가능한 유기물 박막 기술을 개발하여 2025년까지 출하
신일본 석유 & 산요전기	- 2009년 1월 차세대 태양전지 양산 위해 반씩 출자해 신회사 설립 발표 - 산요가 개발한 박막 태양전지를 제품화해서 2010년을 목표로 양산을 개시할 예정이며, 태양광발전소 수주를 주된 사업방향으로 잡을 예정 - 산요는 2009년 봄 파나소닉 자회사가 될 예정이라 산요, 파나소닉, 신일본석유 3사가 연대해 태양전지사업에 임함 - 해외의 신일본석유 영업망을 활용해 대규모 발전소를 공략, 파나소닉은 산요의 태양전지 등 환경에너지분야에 1000억 엔 투자방침 등 시너지 효과
쇼와셀 석유	- 화합물형으로 2011년을 목표로 100만 kW 규모로 생산목표를 설정 - 2009년 6월 사우디아라비아 국영석유회사인 아람코와 공동으로 태양광발전사업에 참여, 자신의 태양전지를 사용하여 2010년에 사우디 아라비아에 소규모 분산형 발전소를 건설하여 가정이나 공공시설에 전력을 판매 - 지구온난화 방지에의 대응에 석유나 휘발유 수요의 감소가 예상, 일본과 사우디의 석유메이커가 손을 잡고 태양광발전을 새로운 수익원으로 육성
대일본 인쇄	- 2009년 6월 실용 사이즈의 유기박막 태양전지 시험제작: 인쇄기술을 사용해 제작, 실리콘형 태양전지에 비해 가격이 수분의 1 밖에 들지 않음 - 광에너지를 전기에너지를 바꿔주는 효율은 4%로 낮으나 이 변환효율을 개선하면 노트북 PC나 휴대전화 등의 전원에 사용, 2012년 실용화를 목표
동경대	- 액체에 쉽게 녹는 유기재료의 장점을 살려 벽 등에 칠하는 것만으로 태양전지가 되는 재료의 개발도 진행중: 지붕이나 벽에 페인트처럼 칠할 수 있는 새로운 재료 개발에 목표를 두고 있음 - 하시모토 가즈토(橋本和仁) 교수 연구팀은 「자기조직화」 라고 불리는 나노기술을 활용한 유기박막 태양전지를 개발 - 변환효율은 3%를 달성

<표 10> 독일의 박막 태양전지 기술개발 현황

기업	내용
Q-cell	- 시장지배력 강화의 일환으로 소재 공급업체와 파트너십 강화, 신주 발행을 통한 투자재원 확보, R&D 투자 등의 성장 전략 추진 - 2007년 태양전지 생산량은 370 MW에 달해 세계 1위 등극 - 주요 사업 부문은 결정질 실리콘계 태양전지이며, 지속적인 연구개발을 통해 2002년 14.3%였던 변환 효율을 2006년 15~16%까지 올림 - 차세대 태양전지 수요에 대응하기 위하여 10~30 MW급 박막 태양전지 파일럿 생산라인을 운영중이며 2008년 50~100 MW급으로 증설 - 실리콘 공급 부족에 대비하여 안정적인 공급처를 확보하기 위해 Elkem사와 2008~2018년 동안 총 6.7만 톤 실리콘 장기공급계약을 체결 - 태양전지 기관 확보 및 전지, 모듈 생산을 목적으로 미국 Evergreen Solar와 공동 투자사인 EverQ를 설립 - 2008년에도 연초부터 독일 및 스페인의 태양광 발전 사업자들의 주문이 급증하고 있어 30%대의 고성장이 기대됨
Ersol Solar Energy AG	- Eni SpA의 자회사로 1980년대 초기부터 태양광사업에 진출하였으며, 1997년 이후 본격적으로 태양전지 제조 및 판매를 시작 - 주요 생산품은 주로 결정질 실리콘계 태양전지를 제조하고 있으며, 최근 단결정 실리콘 잉곳 및 웨이퍼 사업에 진출했을 뿐 아니라 모듈 생산을 위해 자회사를 설립하는 등 수직계열화 달성을 위해 노력 - 2005년 중국에 모듈 생산 자회사를 설립하고 2006년 8월에는 Ersol Thin Film GmbH를 설립하여 박막 분야에 진출, 중기적으로 용량 100 MW를 목표로 하고 있음 - 2006년 기준 동사의 태양전지 생산량은 40 MW에 이르고 있으며, 2009년까지 220 MW로 생산규모를 확대시킨다는 계획 - 향후 다양한 태양전지 수요에 대응하기 위해 2006년 8월에는 ErSol Thin Film GmbH를 설립하여 결정질 태양전지 뿐만 아니라 박막형 태양전지 분야에도 진출함
Sunways	- 독일 Konstanz에 설립된 회사로 다결정 실리콘 태양전지, 투명 태양전지, 인버터 생산 등의 부문에 진출 - 2006년 기준 동사의 태양전지 생산능력은 30 MW로 세계 20위권을 기록하고 있으며, 2008년까지 80 MW의 생산을 목표로 하고 있음 - 최근 박막 실리콘 태양전지 분야에 진출하기 위해 리히텐슈타인의 Unaxis AG와 합작하여 생산라인의 건설을 추진중

<자료>: 하나금융경영연구소, “국내외 태양전지 시장 및 업체 현황,” 2008. 6. 4.



산하고 있고, Shell Solar는 단결정 및 다결정 실리콘 태양전지에서 CIS 박막 태양전지까지 다양한 형태의 태양전지를 생산하고 있다. EPV는 주로 a-Si 계 비결정질 실리콘 박막 태양전지 및 모듈을 생산하는데, 박막 태양전지의 가격경쟁력 및 우수한 성능을 앞세워 유럽업체들과 장기 공급계약을 체결하였다. 인텔은 독일 및 중국 박막업체에 투자하였고, IBM은 TOK와 CIGS 기술을 개발하고 있다[11].

<표 9>에서 보듯이 일본의 박막 태양전지 업체들은 유기박막으로 가볍고 저렴하게 태양전지 제조에 주력하고 있다. 특히 태양전지의 가격을 대폭 낮출 수 있는 얇고 가벼운 차세대 재료의 개발이 가속화되고 있다. 업체들 중 샤프는 세계 최초로 태양전지를 상용화하였고, 박막 태양전지 공장을 건설하고 세계 최고의 변환효율 9%를 달성하였다. 도레이는 2015년 상용화를 목표로 유기박막 태양전지의 세계 최고 변환효율을 기록하였다[12].

<표 10>에서 보듯이 독일의 태양전지 업체들 중 Q-cell은 기존의 결정질 실리콘 우주에서 벗어나 차세대 태양전지 수요에 대응하기 위해 박막 태양전지 파일럿 생산라인을 운영하고 있다. Eni SpA의 자회사인 Ersol Solar Energy AG는 향후 다양한 태양전지 수요에 대비하여 박막 태양전지 분야에도 진출하고 있다. Sunways는 기존의 실리콘 태양전지에서 벗어나 박막 실리콘 태양전지 분야에 진출하기 위해 생산라인을 건설중이다[13].

## V. 국내 기술개발 동향

<표 11>에서 보듯이 국내기업의 박막 태양전지의 생산능력은 a-Si 부문에서 2008년 한국철강이 20 MW의 생산능력을, 2009년에는 알티솔라가 50 MW의 생산능력을 갖추게 되었다. LG디스플레이는 2011년에 50 MW의 생산능력을 갖출 것으로 예상

<표 11> 국내 기업의 박막 태양전지 생산능력, 공급량, 매출(2006~2012년)

구분	기술(MW)	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
한국철강	a-Si 생산능력	-	-	20	20	50	100	150
알티솔라	a-Si 생산능력	-	-	-	50	100	150	150
LG디스플레이	a-Si 생산능력	-	-	-	-	-	50	150
텔리오솔라	CIGS 생산능력	-	-	-	-	30	100	100
LG미이크론	CIGS 생산능력	-	-	-	-	-	30	130
a-Si	생산능력	-	-	20	70	150	350	600
	생산	-	-	4.8	42	95	225	405
CIGS	생산능력	-	-	-	-	30	130	230
	생산	-	-	-	-	5	59	130

<자료>: Displaybank, 2009. 3.

<표 12> 박막 태양전지 관련 장비·소재업체 현황

분야	업체	현황		
장비	주성엔지니어링	- 박막 태양전지 장치와 실리콘 기반의 결정형 태양전지 장치를 모두 공급하는 국내 유일업체		
		- 경기, 광주 본사에 태양전지 시험생산라인을 갖추면서 2008년 중국과 인도 업체로부터 각각 500억 원 상당의 박막 방식 태양전지 장비 수주		
		- 박막 방식 이외에 결정 방식 장비도 2009년 초 미국 업체로부터 수주		
		- 국내에서 독보적인 박막 태양전지 턴키(turn key) 장비납품업체로 업계 최고 수준의 광변환 효율을 기록하고 있어 성장성이 기대		
		- 증착장비, 태양전지 생산 시스템 턴키 수주 및 구축		
		- 이중접합 박막실리콘 태양전지로 세계 최고수준인 10.2~10.8% 효율을 보장하는 양산장비 개발 성공		
		- 결정질 실리콘 태양전지 제조장비(PECVD 장비, 건식 식각장비, PECVD SiN 증착장비), 박막 태양전지 제조장비 판매		
		- 고객사와 일정금액을 합작 투자해 장비공급		

(뒷장에 계속)

(계속) <표 12> 박막 태양전지 관련 장비·소재업체 현황

분야	업체	현황
주성엔지니어링		- 현재 일괄수주계약(턴키)을 기반으로 한 태양전지 제조장비와 결정질 핵심공정 장치를 한국·중국·미국·인도 등에 공급
		- 최근 박막형 비정질 태양전지 모듈의 다중접합 태양전지 부문에서 세계 최고 수준인 10% 이상의 안정화 변환효율을 달성하는 장비 및 제조기술을 확보 - 태양광 발전장비의 핵심인 '발전효율'과 '발전원가'에서 확보한 독보적인 경쟁력으로 국내 및 해외, 특히 유럽 시장으로 적극 진출
장비	테스	- 2008년 태양전지 장비사업 진출 선언 - 결정질 및 박막 태양전지용 증착장비 개발완료 - 태양전지 라인 턴키 공급 사업 진출 - 일본으로 박막형 PECVD 장비 수출 실적(2009. 4.)
	아바코	- 태양전지 제조용 Sputtering 장비(박막증착장비) 개발 및 판매 - 2009년 4월 일본업체에 114억 원 규모 제조장비 납품
	케이씨텍	- 박막 태양전지용 세정장비, 단결정 잉곳 생산장치 개발
	한국알박	- 모기업인 일본 알박의 박막 태양전지 제조용 장비 제작 및 판매
	세메스	- 박막 태양전지 장비 분야에서 2009년 하반기 첫 매출 예상
소재	소디프신소재	- 박막 실리콘 증착재료인 모노실란 제조

<자료>: 이준신, "국내 태양광 산업의 동향과 전망," 전자공학회지, 2008. 6.

된다. CIGS 부문에서는 텔레오솔라가 2010년 30 MW, 2012년 100 MW의 생산능력을, LG마이크론이 2011년 30 MW, 2012년 13 MW의 생산능력을 갖출 것으로 전망된다[14].

<표 12>에서 보듯이 국내 박막 태양전지 장비업

체로는 주성엔지니어링이 독보적인 박막 태양전지 턴키 장비 납품업체로 박막형 태양전지 장치와 실리콘 기반의 결정형 태양전지 장치를 모두 공급하는 국내 유일업체이다. 2008년에 중국과 인도업체로부터 각각 500억 원 상당의 박막 태양전지 장비를 수

<표 13> 국내 박막 태양전지 기술개발 동향

기관	개발내용
ETRI	· 박막 태양전지의 저가화, 고효율화 기술개발 및 상용화로 2015년까지 태양광 발전단가를 70원/kWh까지 끌어내리기 위한 'TFPV1570' 프로젝트 추진 - 2세대 박막형 태양광 분야에서만 ETRI는 총 82건의 국내·외 특허를 보유
화학연구원	· 잉곳공정을 비롯한 CIGS 박막형 및 실리콘·염료감응·결정질실리콘 등 연구를 수행 - 고품질의 박막 제조를 위한 유기금속 제조용 원료 소재, 나노 CIGS 제조용 잉크소재 등 저가 고성능 박막 소재 기술을 집중 개발
KAIST	- 빛 조사에 대한 태양전지의 열화현상을 극복하기 위해 주기적으로 수소 희석된 프로터결정 Si 다층막(multilayer) 세계 최초 개발 - 이중 실리콘카바이드 P층 구조와 프로터결정 실리콘 다층막 광흡수층을 결합하여 소면적에서 10시간 빛 조사에 안정화효율 9.0% 달성(세계 최고 안정화 효율 9.47%) - 광화학기상증착(photo-CVD)법을 이용한 고효율, 저열화 단일접합 비정질 실리콘(a-Si:H) 태양전지 제작기술 개발 - p/i 계면 특성 향상을 위한 수소 희석된(hydrogen diluted) 붕소도핑 비정질 실리콘카바이드(p-a-SiC:H) 완충층(buffer layer) 물질 개발, 물리적 메커니즘을 규명 - 비정질 실리콘과 결정 실리콘 상변이(phase transition) 영역에서 제작된 프로터 결정 실리콘 박막 제작 및 광흡수층으로 사용한 비정질 실리콘 태양전지 개발
에너지기술연구원	- 클러스터 형태 다층반응실 가진 증착장비를 개발, 마이크로결정 실리콘 태양전지 제작 및 비정질 실리콘/마이크로결정 실리콘 하이브리드 적층형 태양전지를 개발중 - 상기 적층형 구조의 0.36 cm <sup>2</sup> 소면적 태양전지에서 12.7%의 초기효율 달성
전자부품연구원	- 2004년 이후로 TCP-플라즈마 증착장치를 이용해 실리콘계 박막 태양전지에 대한 연구를 수행하고 있는데 특히 고속 제막 연구를 수행

(뒷장에 계속)

(계속) <표 13> 국내 박막 태양전지 기술개발 동향

기관	개발내용
LG전자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2008년 말 태양전지 사업진출 선언, 2010년까지 240 MW급 생산능력 구축 예정</li> <li>• 2009년 7월 대형(1.1 m×1.3 m) 박막 태양전지 분야에서 세계 최고 수준의 에너지 효율인 11.1%를 달성했다고 발표</li> <li>- 2012년까지 14%대로 높일 계획: 대면적 기준 박막 태양전지를 2010년 가동 예정인 결정형 방식과 더불어 태양전지 사업의 양대축으로 육성</li> <li>- 현재 지경부 '신재생에너지 기술개발사업' 일환으로 2009년 초 시작된 '대면적 실리콘 박막 태양전지 개발' 국책과제 총괄</li> </ul>
LG 디스플레이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2009년 6월 박막 태양전지 사업화 공식 선언: 현재 광전기 변환효율 8% 수준의 박막 실리콘 태양전지 기술에서 2010년 효율 12% 기술을 확보해 생산설비 투자, 2012년엔 14%까지 끌어올려 본격 상업생산에 돌입할 계획이라고 발표</li> <li>- 연말까지 500억 원을 투입해 파주 공장내 연산 20 MW급 박막 태양전지 파일럿 생산라인과 옥외 시험발전 시설 구축, 박막 태양전지 연구전담조직 인력 50명으로 증원</li> <li>- a-Si 박막 태양전지로 효율 8%를 달성, 적층형(탠덤) 박막 태양전지 연구</li> <li>- 2012년 생산할 효율 14%짜리 박막 태양전지의 제조원가를 와트 당 1달러 미만으로 낮춰 결정질 실리콘 태양전지보다 시장경쟁 우위에 오른다는 목표</li> <li>- 제조원가를 낮추기 위해 현 5세대 유리기관 크기의 박막 태양전지를 대면적화하는 기술을 비롯해 지금보다 3배 이상 빠른 고속 박막증착장비(MPECVD), 고효율 광흡수 재료, 고투과율 투명전극 등 핵심소재와 장비제조 기술을 협력사, 대학과 공동개발</li> <li>- 제조단가를 낮추기 위한 대면적화와 공정 단순화 기술 등 요소기술을 확보했고, 산학연 협력을 통해 백시트나 글라스 등 부품소재 저가화 기술을 공동 개발할 계획</li> </ul>
삼성전자	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LCD 사업부와 종합기술원에서 진행해왔던 결정질실리콘 태양전지와 박막 태양전지 R&amp;D를 토대로 2010년 본격 사업화를 위한 대량 양산체제 구축을 검토</li> <li>- 양산할 태양전지는 결정질과 박막 실리콘 적층형(탠덤) 2가지 모두 고려, 현재 결정질 태양전지로는 효율 18%대, 박막 적층형은 10% 이상의 효율 기술 확보</li> <li>• 최근 기흥공장 내 태양전지 생산라인 건설: 연간 30 MW 규모로 일반 가정의 연간 전기 소비량은 3 kW 정도로, 30 MW는 1만 가구에 전력을 공급할 수 있는 규모</li> <li>- 2009년 건설 생산라인은 테스트용 제품 개발 및 생산을 위한 소규모 투자</li> <li>- 본격적 생산라인 증설은 2010년에 이뤄질 것이며, 구체적인 시기와 금액은 검토중, 유력방안은 2010년 3000억~4000억 원 투자 300 MW 이상 생산능력 보유</li> </ul>
한국철강	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 박막형 관련 설비 발주, 2007년 양산 개시 목표, 현 생산 20 MW</li> </ul>

<자료>: 전자신문, 2009. 6. 4., 디지털타임스 2009. 6. 18.

주하였다. 한편 테스, 아바코, 케이씨텍, 한국알박, 세메스 등도 태양전지용 장비사업에 진출하였다. 소재업체로는 소디프신소재가 박막형 실리콘 증착재료인 모노실란을 제조하고 있다.

국내의 박막 태양전지 기술개발 동향으로는 <표 13>에서 보듯이 ETRI, 화학연구소, KAIST, 에너지 기술연구원, 전자부품연구원 등이 박막 태양전지 관련 원천기술 및 상용화기술을 활발히 개발하고 있으며, 삼성전자, LG전자, LG디스플레이 등 대기업들이 미래 신성장동력 진출의 일환으로 차세대 유망 태양전지로 부상하고 있는 박막 태양전지 개발에 참여하고 있다. 이렇게 출연연과 강력한 IT 기반을 갖고 있는 기업들의 가세로 새로운 반도체 및 디스플레이 신화를 재현하려고 하고 있다[15].

## VI. 시사점

우리에게 주는 시사점을 도출하면 첫째, 박막 태양전지부문 기술개발 및 선진업체와 기술협력이 절실하다. 최근 결정질 실리콘 태양전지의 대안으로 경제성이 뛰어난 박막 태양전지가 부상하고 있으며 각국 정부와 기업들은 박막 태양전지 기술개발 및 상용화에 전력을 경주하고 있다. 초기 대규모 투자에 대한 리스크가 있으나 시장선점을 위해 본격적인 지출을 서둘러야 하고 기술개발 투자를 증대해야 한다. 경험하고 있는 다양한 박막 태양전지 기술 중에서 우리나라가 기반기술에서 우위를 선점하고 있는 a-Si 태양전지와 CIGS/CIS 태양전지 부문에 연구개발 투자를 집중해야 할 것이다. 또 박막 태양전지

는 결정질 실리콘 태양전지 대비 수명과 신뢰성에 대한 검증 미비로 상용화가 진행되고 있는 미국 및 독일 업체와 기술협력을 증진할 필요가 있다. a-Si 박막형 태양전지의 경우 국내업체가 초기 생산 기술력을 보유하고 있으므로, 선진업체와 기술제휴를 통해 상용화기간을 단축시킬 수 있다. 화합물의 박막 태양전지(CdTe, CIGS) 경우, 선진업체와 기술격차가 크므로, 기술력과 상용화 능력을 갖춘 업체와 M&A를 통해 시장 진입이 효율적이다[16].

둘째, 생산된 박막 태양전지 모듈에 대한 판로의 확보이다. 국내에서는 2008년 한국철강이 연산 20 MW 박막 실리콘 태양전지 공장을 준공하여, 하반기부터 생산을 시작했고, 2009년 4월에는 알티솔라가 연산 25 MW 규모의 공장을 가동하기 시작했다. 이 업체들이 생산하는 박막 실리콘 태양전지는 아몰포스(비정질) 실리콘을 단층으로 증착하는 박막 태양전지로 광전기변환 효율이 6~8% 수준이다.

특히 정부의 태양광발전 보조금 축소와 연도별 한도용량 설정으로 내수가 크게 위축되었고, 정부의 '그린홈100만호' 등 태양광 보급사업에서 결정질 태양광 모듈만 보조금 지급 설비로 선정하고 박막 모듈은 제외돼 판로를 확보하기가 어렵다.

태양광을 전기로 바꿔주는 효율이 높은 결정질 실리콘 태양광 모듈 가격이 박막 실리콘 태양전지·모듈 가격 수준으로 떨어지면서 박막 전지가 시장경쟁에서 밀려 수요처를 찾기가 어렵다. 현재 결정질 실리콘 태양광 모듈 가격은 와트 당 최저 2달러 초반대로 박막 실리콘 모듈과 거의 비슷한 수준까지 떨어졌다. 가격은 비슷한데 태양광으로 전기를 생산할 수 있는 능력은 결정질 태양광 모듈이 배 이상이기 때문에 박막 모듈 구매자를 찾기가 어렵다. 박막 모듈은 일반 대지는 물론 건물에 설치할 수 있는 장점에도 불구하고 아직 생산물량이 적고, 초기라서 생산단가도 높아 대량으로 양산되는 결정질 태양광 모

듈과는 가격 경쟁에서 이기기 어렵다. 이같은 이유 때문에 2010년 연간 1 GW 규모의 박막 실리콘 태양전지 공장을 가동할 예정이었던 샤프도 가동시기를 연기하였다.

정부가 실시하는 박막 태양전지·모듈 인증까지 받았으나, 내수 판로가 없어 국내 박막 태양전지 업체들이 시장에서 외면당하고 있는 현실을 감안할 때 미래 유망산업 육성이라는 측면에서 정부가 태양광 보급사업에서 박막 모듈도 보조금 지급 설비로 선정하는 등 판로를 열어주도록 노력해야 할 것이다[17].

## 참 고 문 헌

- [1] 산은경제연구소, "박막 태양에너지의 개발동향과 시사점," 2009. 6., pp.8-11.
- [2] 김제하, "박막형 태양전지 기술 및 산업동향," 전자통신동향분석, 2008. 12, pp.2-3.
- [3] ETRI, "CIGS 태양전지 산업화 방안," 외부발표자료, 2009. 9. 18., pp.13-15.
- [4] 김제하, "박막형 태양전지 기술 및 산업동향," 전자통신동향분석, 2008. 12., p.4.
- [5] 삼성경제연구소, "박막 태양전지 부상과 시사점," 2008. 5. 6., pp.5-6.
- [6] KNREC, 태양광전문위원회, 2008. 10.
- [7] IITA, "박막 태양광 시장동향," 2009. 5., p.4.
- [8] 이정철, "박막 실리콘 태양전지 기술, 시장현황 및 전망," 에너지기술연구원, 2009. 5. 19.
- [9] Displaybank, 2009. 3.
- [10] Displaybank, 2009. 3.
- [11] 하나금융연구소, "국내외 태양전지 시장 및 업체 현황," 2008. 6. 4., pp.9-13.
- [12] 일본경제신문, 2009. 3. 23.
- [13] 하나금융연구소, "국내외 태양전지 시장 및 업체 현황," 2008. 6. 4., pp.14-17.
- [14] Displaybank, 2009. 3.
- [15] 전자신문 2009. 6. 4., 디지털타임스 2009. 6. 18.
- [16] IITA, "박막 태양광 시장동향," 2009. 5., p.8.
- [17] 디지털타임스 2009. 7. 13.