

태양광 기술의 현황과 전망

조 은 철 | 현대중공업 기계전기연구소 태양광연구실, 전문임원 | e-mail : eccho@hhi.co.kr
 이 원 재 | 현대중공업 기계전기연구소 태양광연구실, 수석연구원 | e-mail : leewj@hhi.co.kr
 전 민 성 | 현대중공업 기계전기연구소 태양광연구실, 선임연구원 | e-mail : joseph7@hhi.co.kr
 이 준 성 | 현대중공업 기계전기연구소 태양광연구실, 선임연구원 | e-mail : jslee0613@hhi.co.kr

이 글에서는 태양광 연구를 선도하고 있는 해외 선진업체의 개발 현황과 기술 수준을 소개하고, 국내 태양광 산업현황을 가치사슬별로 정리하였다. 또한 국내의 태양광 연구개발 및 산업화를 추진하기 위한 정부의 태양광 R&D 추진체계를 소개한다.

태양광 산업의 현황

21세기 인류가 당면한 문제 중의 하나는 최근 지구온난화에 따른 기후환경 변화로, 화석연료의 사용을 줄이고자 하는 노력은 적극적으로 진행되고 있다. 그러나 국제 에너지 기구나 미 에너지국의 조사에 따르면 전세계 에너지 수요는 앞으로도 꾸준히 증가하여 2030년에는 지금의 수치보다 약 50% 증가할 것으로 예상된다.⁽¹⁾ 특히 석유와 같은 화석연료는 중국, 인도 및 브라질 등 신흥 산업국의 경제 성장에 따라 소비량이 막대하게 증가하고 있기 때문에, 세계 각국은 에너지 수급안정, 경제성장, 환경보전을 위해 태양광, 풍력 등의 재생가능한 에너지원의 기술개발과 실용화에 박차를 가하고 있다.

태양광 산업을 활성화시키는 중요한 원천은 세계 각국의 신재생에너지 정책이다. 미국, 독일, 일본, 프랑스, 중국 등 대부분의 국가들은 그림 1과 같이 2020년까지 신재생 에너지의 사용 비중을 크게 늘리는 것을 공통적인 에너지정책으로 제시하고 있다. 한국은 2020년까지 신재생 에너지의 비중을 8%까지 늘려 잡고 있으며, 녹색성장에 의한 국가발전을 제시하고 있다.

전세계 태양광 시장은 2006년 1.6GW, 2007년 2.4GW, 2008년 5.5GW의 모듈을 설치하였다. 국가별로는 그림 2와 같이 스페인이 2.3GW로 1위를 차지했으며 독일이

1,532MW, 미국이 346MW, 한국이 뒤를 이어 278MW의 시장을 형성하고 있다. 2009년 태양광 시장은, 2008년 41%의 태양광 시장을 주도하였던 스페인 정부와 한국 정

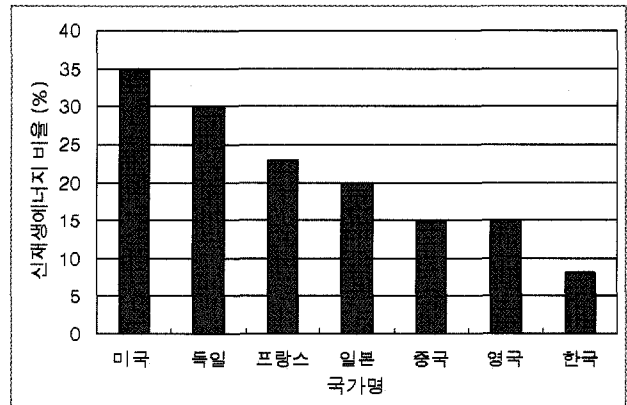


그림 1 주요 국가들의 2020년 신재생 에너지의 사용 비중

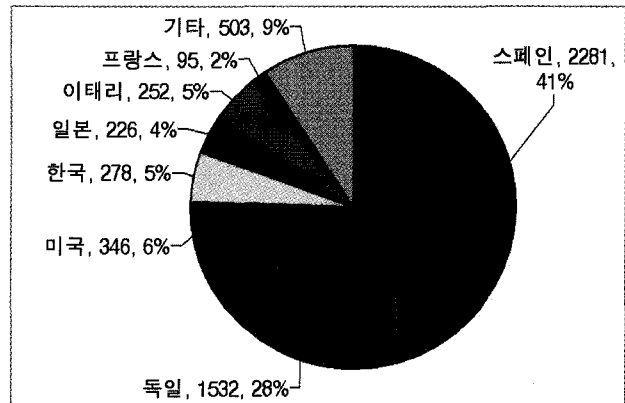


그림 2 2008년 국가별 태양광 설치량 및 점유율

표 1 2006년부터 2008년까지의 세계 10위 내의 태양전지 생산업체와 생산량의 변화

순위	2006년	2007년	2008년
1	Sharp, 435MW	Q-Cells, 365MW	Q-Cells, 570MW
2	Q-Cells, 253MW	Sharp, 372MW	First Solar, 504MW
3	Kyocera, 180MW	Suntech, 365MW	Suntech, 498MW
4	Suntech, 160MW	Kyocera, 207MW	Sharp, 473MW
5	Sanyo, 155MW	First Solar, 200MW	Motech, 274MW
6	Mitsubishi, 111MW	Motech, 176MW	Kyocera, 290MW
7	Motech, 102MW	SolarWorld, 170MW	Yingli Solar, 282MW
8	Scott Solar, 96MW	Sanyo, 165MW	JA Solar, 277MW
9	Deutsche Cell, 90MW	Yingli Solar, 143MW	SunPower, 237MW
10	BP Solar, 86MW	JA Solar, 132MW	Deutsche Cell, 221MW
Top 10의 시장 점유율	62%	53%	45%

CdTe와 CIGS로 분류되며, 표 2는 2008년 박막태양전지 업체와 출하량을 나타낸다. 2008년 박막태양전지 생산량은 1,057MW이다. 10위 이내의 박막태양전지에 참여하고 있는 회사가 160여 개로 알려져 있으며, 10위 이내의 업체가 박막태양전지 생산의 81%를 차지하는 것은 대부분의 업체가 R&D 또는 pilot 단계에

머물고 있음을 의미한다. 10위 이내의 업체를 분석하면, CdTe를 생산하는 미국의 First Solar가 504MW 생산하여 박막태양전지 생산량의 48%를 차지하였으며, 비정질 실리콘(a-Si)을 280MW (26%)와 CIGS 태양전지는 총 63MW(6%)를 생산하였다.

부의 지원규모 축소로 인하여 마이너스 또는 소폭 성장이 예상된다. 스페인 정부는 2008년 한 해에만 2.3GW가 설치되는 과열현상으로 2009년 FIT(Feed-in Tariff, 발전 차액지원제도) 요율을 최대 27%까지 축소하고, 설치 상한선을 2009년 500MW, 2010년 502MW, 2011년 488MW로 제한하였다. 한국정부는 2009년 태양광 설치규모를 50MW로 제한하였다. 또한 금융시장의 신용경색으로 외부자본 조달을 통한 태양광 프로젝트 건설 계획이 취소되거나 연기되고 있다. 이는 2009년 세계 태양광 시장 위축의 주요 원인이 되고 있다. 2009년 위축되었던 태양광 시장은 미국, 독일, 이탈리아, 프랑스, 중국, 일본 등 주요국의 수요확대로 2013년까지 지속적인 성장이 예상된다.

표 1은 3년간의 세계 10위 내의 태양전지 생산업체와 생산량의 변화를 나타낸다. 세계 10위 내의 시장점유율이 감소하는 것은 많은 기업들의 시장참여로 경쟁이 심화됨을 의미한다. 독일의 Q-cells은 2008년 570MW의 태양전지를 생산하여 전세계 1위의 생산량을 기록하였다. 또한 화합물 반도체 박막 태양전지인 CdTe를 생산하는 First Solar를 제외한 나머지 업체들은 실리콘 웨이퍼를 이용하여 태양전지를 제조하는 결정질 실리콘 태양전지 업체이다.

원재료의 사용량이 적은 박막태양전지는 실리콘계 및 화합물계로 분류할 수 있다. 화합물계는 앞서 언급한

박막 태양전지는 수요 창출 측면에서 박막 태양전지의 변환효율을 10% 이상 달성하고, First Solar사와 같이 약 1.0\$/Wp 이하의 낮은 제조원가를 가진 업체는 시장에서 경쟁 가능할 것으로 사료된다.

표 2 2008년 박막태양전지 업체와 출하량

순위	회사(생산기술)	생산량(MW)
1	First Solar (CdTe)	504
2	United Solar Ovonic (a-Si)	112
3	Kaneka (a-Si)	53
4	Mitsubishi Heavy Industries (a-Si)	40
5	Sharp (a-Si)	38
6	Würth Solar (CIGS)	30
7	Ersol (a-Si)	20
8	Honda Motor (CIGS)	18
9	Schott Solar (a-Si)	17
10	Showa Shell Sekiyu (CIGS)	15
	기타	200
계		1,057

표 3 Q-Cells의 박막형 태양전지 자회사 현황

회사명	제품	규모(MW)	지분	모듈 효율(%)
Calyxo	CdTe	25	93%	7.9
Solibro	CIGS	25	100%	최고: 11.9 평균: 11
Sontor	a-Si/u-Si	25	100%	-

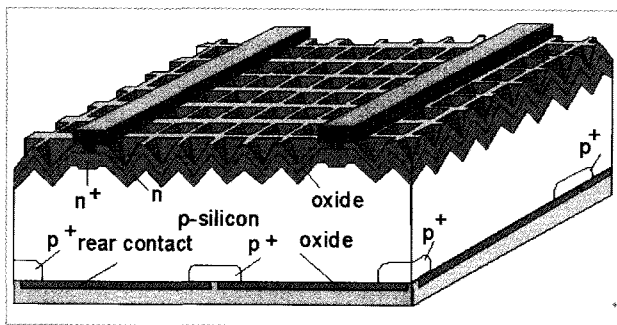


그림 3 UNSW의 PERL cell 구조

선진 업체의 개발 현황

Q-Cells의 개발 동향

- 결정질 실리콘 태양전지 기술 개발 현황

현재 세계 최대의 태양광 기업인 Q-Cells은 독일계의 태양전지 제조 회사로 일반적인 방식의 결정질 태양전지를 생산하여 판매 중이다. 2008년 연구소를 설립하여 연구개발을 수행하고 있다. 기술 개발의 방향은 결정질 태양전지와 박막형 태양전지 부분을 진행하고 있고, 결정질 경우 자체 기술 개발을 진행하고 있으며, 박막형의 태양전지 경우 지분투자의 방식으로 기술 개발을 진행 중이다.

결정질 태양전지 기술에 있어서 현재 양산 라인에서 2009년 말까지 16% 이상의 태양전지를 80% 이상 생산할 수 있도록 하는 프로젝트를 진행 중이다. 또한 고효율 태양전지의 개발을 위한 프로젝트를 시작하여 단결정 태양전지에서 18.3% 효율을 달성하였으며, 지속적으로 개발을 추진하여 2011년 말까지 생산 라인에서 단결정 태양전지 20% 효율 달성을 목표로 하고 있다. 2009년 상반기 Q-Cells의 IR에 발표된 내용은 다음과 같다.⁽²⁾

- ◎ 단결정 실리콘 6인치 full-square 생산(5%의 출력 향상)
- ◎ 연간 효율 0.5%씩 향상

◎ 실리콘 외의 재료비의 원가를 30% 절감

◎ CIGS 및 CdTe 집중 연구

- 박막형 태양전지 기술 개발 현황

박막형 태양전지 기술 개발이 경우 지분 투자 방식으로 진행 중이다. 현재 Q-Cells이 지분 투자하고 있는 박막 태양전지 제조 회사 및 현황은 표 3과 같다.

선택의 기술 개발 전략

선택(Suntech Power)은 중국계의 세계 2위의 결정질 태양전지 제조 회사로 결정질 태양전지 및 모듈을 제조하여 판매 중이며 박막형 비정질 실리콘 태양전지의 기술 개발도 진행하고 있다.

선택의 결정질 실리콘 태양전지 기술은 일반적인 스크린 프린팅 방식의 태양전지 제조 기술과 UNSW(University of New South Wales)의 PERL(Passivated Emitter Rear Locally diffused) 태양전지 기술을 응용한 고효율 태양전지인 Pluto 태양전지 기술을 개발하고 있다. 스크린 프린팅 방식의 태양전지의 효율은 단결정의 경우 변환효율 17.2%를 달성하고 있으며 Pluto 태양전지의 경우 단결정에서 19%, 다결정 17% 효율을 달성하였다. 최근에 Pluto 방식의 다결정 태양전지를 응용하여, 모듈 효율에서 15.6% 달성하여 세계 최고 다결정 모듈 효율을 달성하였다고 발표하였다.⁽³⁾

일본 업체의 개발 동향

일본은 2004년부터 NEDO를 중심으로 태양광발전 로드맵 PV2030을 설정하여 추진하여 오다가, 올해 광변환 효율의 목표치와 개발 완료시기를 2050년까지 수정하여 새로운 태양광 발전 로드맵 PV2030+를 발표하였다.⁽⁴⁾

결정질 실리콘 태양전지의 실용화된 모듈 변환효율을 2020년과 2030년까지 기존의 변환효율 목표 치에서 1%와 3% 상향 조정하여 20%와 25%로 수정하였다. 또한, 2050년까지 목표 치의 방식은 정하여 지지 않았으나, 40%까지의 모듈 변환효율 목표 치를 새로이 추가 하였다. 발전단가의 경우는 기존의 로드맵과 동일한 목표치로 설정이 되었다. 특히, 주목할 만한 부분은 개발완료 시기의

조정이다. 지금까지는 주어진 과제의 개발기간과 실용화 시기에 있어서 개발은 종료되었으나, 실용화가 지연되는 현상이 있었다. 이를 보완하기 위하여 실용화 시기 3~5년 전에 개발완료 시기를 설정하여 목표시기에 실용화를 이루는 것이 추가한 항목이라고 볼 수 있다.

한국의 태양광 산업 및 기술개발 현황

태양광 산업 현황

2007년까지 국내에서는 대다수의 업체들이 태양광 산업의 규모는 미약하여, 태양광 발전 분야의 선진업체보다 10여 년 늦은 것이다. 태양광 산업이 전세계적으로 붐이 일면서 2008년부터 국내에서도 많은 업체들이 태양광 산업에 진출하였는데 국내 태양광 산업은 폴리실리콘 원료에서부터 시스템까지 산업 전 영역에 이르는 가치사슬(value-chain)을 형성하고 있다. 다음은 태양광 분야의 각 밸류 체인별로 국내 업체의 개발 동향에 대하여 살펴보았다.

○ 폴리실리콘

폴리실리콘(Poly-silicon)은 태양전지 밸류 체인의 상부에 위치한 핵심기초 소재로, 2005년 이전에는 세계에서 7사만이 생산하고 있었다. 국내에서는 OCI(구 동양제철화학)가 폴리실리콘 사업에 신규로 진출하여 상업화에 성공하였고, 초기에 9N 향후에는 10N의 실리콘을 생산할 예정이다. OCI는 2007년 12월 6,500톤 규모의 1공장을 완공하여, 2008년 5,000톤의 폴리실리콘을 생산 출하하였다.

폴리실리콘 양산기술 국산화 기술개발에 힘써왔던 KCC도 2008년 3월 태양전지 사업에 진입한 현대중공업과 합작 법인인 KAM을 설립하고, 2010년 생산을 목표로 연간 3,000톤 규모의 폴리실리콘 생산공장을 건립 중이다. 이외, 미국의 SunPower의 투자를 받아 잉곳 사업을 하고 있던 웅진그룹의 웅진폴리실리콘, 오성엘에스티와 신성이 엔지가 투자해 설립한 한국실리콘 등이 공장을 짓고 있다.

○ 잉곳/웨이퍼

잉곳/웨이퍼 분야에서는 네오세미테크, 넥솔론, 웅진에

너지, 세미머티리얼즈 등이 활발한 움직임을 보이고 있다. 2008년 국내 업체의 잉곳/웨이퍼 생산 Capa.는 740MW 이었고 2009년 1,460MW, 2010년 2,370MW 규모로 확대될 것이다.

○ 결정질 실리콘 태양전지

2007년까지 국내 대부분의 업체에서는 KPE가 유일하게 결정질 실리콘 태양전지를 생산해 왔다. 현대중공업, 미리넷솔라, 신성홀딩스, 제스솔라 등의 업체들이 2008년 태양전지 시장에 진입하였다. 또한 LG전자, STX 솔라, 한화석유화학 등이 태양전지 양산공장을 완공하였거나 건설 중에 있다. 2007년 국내 태양전지 생산업체의 총생산 Capa.는 36MW 수준으로 매우 미약하였으나, 최근 많은 업체들이 태양전지 시장에 진입하면서 2008년 176MW, 2009년 936MW까지 급격히 증설이 진행 중이며, 2010년에는 1,466MW까지 생산 설비가 증대될 것이다. 2008년까지 기가와트급 태양전지 생산능력을 갖춘 국가는 중국(5.1GW), 대만(2.4GW), 일본(2.1GW), 독일(1.8GW), 미국(1.4GW) 등 5개국 정도다. 금년 말까지 우리나라는 중국(6.8GW), 대만(3.7GW), 독일(3.2GW), 일본(2.5GW), 미국(2.1GW)에 이어 세계 6위의 태양전지 생산능력을 확보할 것으로 추정된다. 특히 현대중공업은 2009년 설비능력이 330MW로 국내 최대 규모이다.(표 4)

국내 결정질 실리콘 태양전지 업체의 생산 능력 (단위: MW/년)

업체명	연도	2008	2009
경동솔라		20	60
대유디엠씨		-	50
서울마린		100	100
솔라월드코리아		60	150
신성CS		10	10
심포니에너지		100	150
에스에너지		80	100
에이원테크		-	70
유니슨		10	10
현대중공업		70	170
LS산전		10	50
STX솔라		-	50

표 5 국내 모듈 업체의 생산 계획 (단위: MW/년)

업체명	연도	2008	2009
미리넷솔라		30	150
신성홀딩스		50	100
제스솔라		30	60
한화석유화학		-	30
현대중공업		30	330
KPE		36	96
LG전자		-	120
STX솔라		-	50

○ 박막 태양전지

국내에서는 한국철강과 알티솔라가 비정질 실리콘 박막 태양전지의 양산을 진행하고 있다. 한국철강은 주성에너지 니어링으로부터 설비를 도입하여 5세대 유리기판을 사용한 비정질 실리콘 단일 접합 태양광 모듈을 생산하고 있다. 알티그룹은 태양광 인버터를 수년 전부터 수입하여 국내에 판매하면서 태양광 사업에 역량을 키워 오다가 2008년 3월 알티솔라를 설립하여, 2009년 1월 박막 실리콘 태양전지 생산공장을 완공하고 툰키 도입한 알박의 박막 실리콘 태양전지 생산장비로 양산을 진행 중이다. 한국 철강과 알티솔라의 생산 능력은 각각 20MW, 50MW이다.

CIGS 태양전지 분야에서는 벤처기업인 Telio 솔라가 하향식 Co-evaporation 법을 적용하여 개발하고 있으며, LG 마이크론도 국가과제에 참여하여 동일한 기술로 개발하고 있다. 한편 대양금속은 국내 최초로 flexible 금속 기판을 이용하여 CIGS 박막 태양전지를 양산하기 위하여 2009년 말 50MW 라인을 건설한다고 발표하였다.

○ 모듈 및 시스템

태양전지보다는 모듈분야에 많은 업체들이 참여하고 있는데, 현대중공업, 에스에너지, 심포니에너지, 경동솔라, LS산전, ATS 솔라, 유닉스, 솔라테크 등이 대표적인 업체이다.

2008년 국내 업체의 모듈 생산 Capa.는 505MW이었고 2009년 1,080MW 규모로 확대될 것이다.

기술개발 현황

정부는 전세계적인 녹색성장 추세에 맞춰 신·재생에너지의 적극적 개발·보급을 촉진하고 있다. 신·재생에너지 산업 중 태양광산업은 풍력과 더불어 그린에너지 분야의 선도산업으로서 소득과 일자리를 창출하는 차세대 성장동력으로 육성하기 위한 정책적 지원의 필요성이 높은 분야이다.⁽⁵⁾

국내 신재생에너지 보급기반 확대를 위한 정부 정책은 태양광주택 보급사업, 지방보급사업, 설치비 보조, 장기저리의 용자지원 등의 기존 정부보조 중심의 지원방식에서 신재생에너지 공급의무화 제도(RPS: Renewable Portfolio Standards), 공공건물의 신재생에너지 설치의무화 등 보급의무화로 전환을 추진하고 있다.⁽⁶⁾

국내의 태양광 산업은 신재생에너지산업이 초기단계인 점을 감안, 상용화 연계 기술개발에 대한 적극적 발굴과 지원 필요한 실정이다. 이에 따라 2008년 7월에 신재생에너지 R&D 추진체계를 개편하여 전략기술, 원천기술, 핵심기술, 실증연구, 정책기획연구 등으로 재구성하였다.⁽⁵⁾ 전략기술, 핵심기술, 실증연구 등은 상용화 주체인 민간기업이 전략기술개발과제 등 주요 기술개발 사업의 주관으로 참여하여 연구개발의 성과물의 상용화율을 높이고자 하였다. 전략기술개발사업은 대기업(핵심공정·상용화 기술)과 중소기업(재료·부품·장비)의 역할 분담과 컨소시엄 형태의 기술개발 추진 등을 통해 연관산업을 조기 구축함으로써 성장동력화를 이루고자 하였다.⁽⁶⁾

맺음말

세계 각국은 급격한 경제 성장으로 인한 화석연료의 사용증가에 따른 지구온난화 및 이상기후 현상 발생과 화석연료의 고갈 우려로 인하여, 화석연료를 대신할 신·재생 에너지를 개발을 주요 정책으로 발표하고 있다. 그 중 태양광 발전은 자원의 분포가 균일하고 다양한 응용이 기대되는 가장 전망 있는 재생 에너지원으로서 각국 에너지 정책의 큰 비중을 차지하고 있다.

이 글에서는 국내외 태양광 산업의 현황과 기술, 그리고

전망을 제시하였다. 특히, 선진 태양전지 생산 업체인 독일의 Q-cells, 중국의 Suntech, 및 일본의 최근 연구개발과, 고효율화를 위한 기술 등을 소개하였다. 마지막으로, 국내 태양광 산업의 현황과 기술개발 상황을 소개하였으며, 앞으로 태양광 발전 산업이 국가 및 사회 발전에 크게 공헌할 것을 기대한다.

참고문헌

- (1) L. B. Lave, MRS Bull, 33(4), 291 (2008).
- (2) Q-Cells 2009년도 2분기 IR presentation.
- (3) Suntech 사의 2009년도 2분기 보고서, [http://](http://www.solarplaza.com/news/suntech-reports-2nd-quarter-results)

www.solarplaza.com/news/suntech-reports-2nd-quarter-results.

- (4) NEDO 태양광 발전 로드맵(PV2030+), <https://app3.infoc.nedo.go.jp/informations/koubo/kaiken/BE/nedopressorder.2009-06-08.2039491773/gaiyou.pdf>.
- (5) 지식경제부, 2009년도 신·재생에너지 기술개발 및 이용·보급 실행계획 (2009.4).
- (6) 지식경제부 신·재생에너지과, 태양광산업 발전방안 (2009.7).

기계용어해설

기어 셰이빙 머신(Gear Tooth Shaving Machine)

기어의 단면을 평활하게 하고 치형이나 피치를 수정해서 좀더 고정 밀도의 기어로 다듬질하는 기계.

가이거-물러 계수관(Geiger-Müller's Counter Tube)

방사선입자가 관내에 입사하여 발생시키는 방전 전류 펄스를 증폭, 계수하는 방사선 검출장치의 일종.

헤링본(Herringbone)

판이나 가닥으로 되어 있는 소재에서 압연 방향으로 일정 각도를 이루고, 광택이 있는 부분과 없는 부분이 서로 엇갈리게 되어 그 조합이 나타내는 모양.

중수로(重水爐; Heavy Water Reactor)

천연 우라늄을 연료로 쓰며, 감속재, 냉각재 어느 것이나 중수가 아니면 원자로가 이루어질 수 없는 노.

고에너지 고속 가공법(High Energy Rate Forming)

폭발 성형, 고속 단조법 등과 같이 에너지 출력이 크고 변형 속도가 빠른 가공법의 총칭.

강인주철(強韌鑄鐵; High Strength Cast Iron)

분자의 기(基)의 바탕을 펄라이트 조직으로 하고, 흑연이 미세하게 분포되어 있는 철 25, 30, 35의 것.

고력가단주철(高力可鍛鑄鐵; High Strength Malleable Cast Iron)

망간 0.8~1.2%를 함유하며 특수한 열처리를 하여 기지를 구상 펄라이트 조직으로 만든 것.