

태양광 발전용 PCS의 연구 동향

박성준*, 송성근**, 김용구***

(*전남대 전기공학과 부교수, **전자부품연구원, ***한국폴리텍V대학 전기계측제어과 조교수)

최근 녹색성장의 기조하에 신재생에너지에 대한 투자가 증대되고 있으며, 특히 태양 에너지를 전기에너지로 바꾸는 태양광 발전시스템에 대한 관심이 많아지고 있다. 이와 같은 기조하에 태양광 발전 시스템은 소용량의 가정용에서부터 대규모 발전용까지 폭넓게 개발이 진행되고 있으며, 이와 함께 태양광 PCS의 개발이 활발해지고 있다. 이같은 태양광 발전용 PCS의 경우 전력전자 기술을 바탕으로 제어를 통한 계통에 연계를 기본기술로 하고 있다. 이와 같이 다양한 태양광 PCS에 대한 많은 선행기술 확보를 위한 연구의 노력들과 다양한 태양광 PCS의 기술개발 현황에 대해 소개하고자 한다.

1. 서론

태양전지는 1839년 베크렐이 발견한 광기전력효과를 이용한 전기 변환소자로 1954년에 미국 벨연구소에서 결정형 실리콘 태양전지가 개발되었으며, 일본에서는 1958년에 통신 시설로 최초의 태양광발전 시스템이 설치되었다. 이후 1960년대부터 인공위성 전원용으로 사용되었으며, 지상용 태양광 발전시스템으로 실용화는 미국의 National Photovoltaic Program에 의해 시작되었다. 1997년 12월 지구온난화 방지를 위한 기후변동에 관한 국제연합 제약국회인 교토의정서가 채택된 계기로 친환경 무한 에너지원인 태양광 발전시스템에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

세계는 태양 전지의 셀 효율과 모듈 효율을 놓고 치열한 각

축전을 벌이고 있다. 2010년 현재 다결정형으로는 일본에서 변환효율 17.3%, 모듈 효율 16.6%의 모듈이 개발되었으며, 현재까지 발표된 고효율 태양전지는 미국 선파워사의 후면전극형 태양전지(Back Contact Solar Cell), 영국의 BP솔라의 레이저를 이용한 매몰 전극형 태양전지(Buried Contact Solar Cell), 일본산요사의 HIT 태양전지(Hetero-Junction with Intrinsic Thin layer) 등이 있으며 효율이 20%가 넘는 경우도 있다.

태양광 발전시스템은 그림 1과 같이 태양에너지를 전기로 변환하는 태양전지 모듈, 생산된 DC에너지를 일반 전력계통에서 사용하기 위해 AC에너지로 변경하기 위한 인버터, 태양

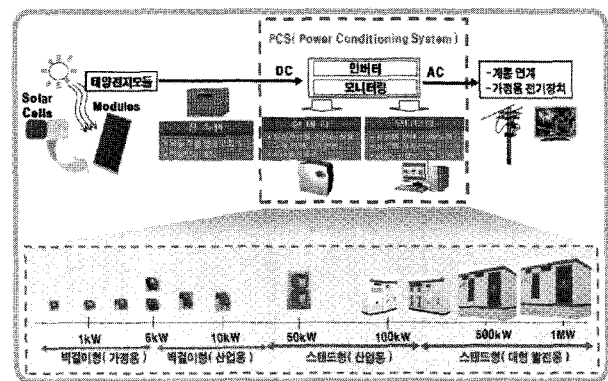


그림 1 태양광 인버터의 개요

전지 모듈과 인버터를 연결하기 위한 인터페이스 부, 그리고 인버터와 상용 전력계통을 연결하는 인터페이스 부로 크게 나눌 수 있다.

태양광 발전 시스템은 앞서 설명한 바와 같이 모듈에서 생산되는 전기를 사용자가 사용하기 위해서는 인버터라는 전력 변환기의 사용이 필수적이다. 이와 같은 인버터는 전력의 품질, 시스템 효율 및 시스템 안정성을 결정하는 핵심 요소로 최근 중요성을 인식하고 우수한 인버터 개발을 위한 많은 연구 및 기술개발이 이루어지고 있다.

최근 태양광 발전 시장의 확대와 더불어 인버터는 수 kW 이하의 소용량 가정용, 수십 kW 대의 산업용 및 수백 kW 이상의 대형발전용 등의 다양한 개발이 이루어지고 있으며, 인버터는 기존의 단순한 전력변환을 위한 기능을 벗어나 태양광 발전시설 전체의 모니터링을 위한 기능을 겸비한 형태의 인버터 시스템(PCS : Power Conditioning System)으로의 개발이 확대되고 있다.

2. 태양광 발전용 PCS

2.1 태양광 발전 시장동향

신·재생에너지 중에서 태양광 산업이 장기 성장성이 가장 높을 것으로 예상되고 있으며, 실제 전체 태양광 발전시장은 누계설치 기준 2008년 12GW에서 2012년 44GW로 CAGR(Compound Annual Growth Rate) 40%정장이 예상되며 당해년 설치 용량으로는 4GW에서 11GW로 CAGR 38%의 성장이 예상된다.

EPIA 2006년 보고서에 따르면 2020년에 전세계 태양광 시장은 20GW 규모에 이를 것으로 예측되고 Greenpeace/EPIA 시나리오에 따르면 2025년 전 세계에 55GW 규모의 보급이 이루어질 경우, 제조, 설치, 판매, 유지, 보수 등 분야

에 약 320만 개의 고용이 창출될 것으로 전망된다.

1997년에 일본에서는 태양광발전의 누적도입량이 세계1위를 차지하였으며, 2005년까지 태양광 발전보급량이 세계 최고를 기록하였다. 그러나 2008년도 태양광 발전도입량은 스페인이 1위를 차지하고, 그 뒤를 이어 독일, 미국, 한국, 이탈리아, 일본 순으로 일본은 6위로 떨어졌다. 그림 4의 태양광 인버터 용량대별 설치비를 보면 미국, 일본, 유럽 등 현재 태양광이 많이 보급되어 있는 나라일수록 가정용 수용가 50% 이상을 차지하고 있으며, 한국은 주택용이 19%로 현재는 점유율이 낮으나 향후 태양광 주택보급사업과 맞물려 성장할 것으로 예상되고 있다.

지금까지 태양광 발전 시장은 각국의 FIT(Feed In Tariffs), RPS(Renewable Portfolio Standard), PTC(Production Tax Credit), REC(Renewable Energy Credit)와 같은 다양한 지원 정책에 의해 급속히 증가하여 왔으나, 앞으로는 이와 무관하게 꾸준한 성장세를 유지할 것으

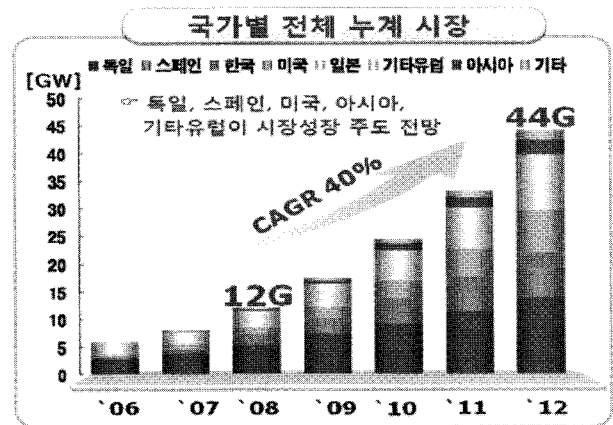


그림 3 국가별, 연도별 태양광 발전시장

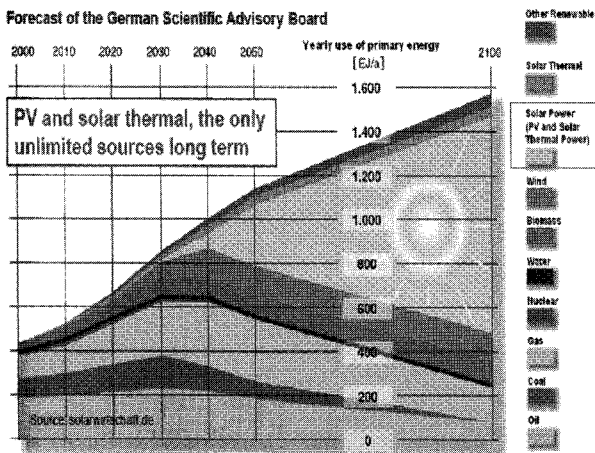


그림 2 세계 에너지 산업 발전 예상

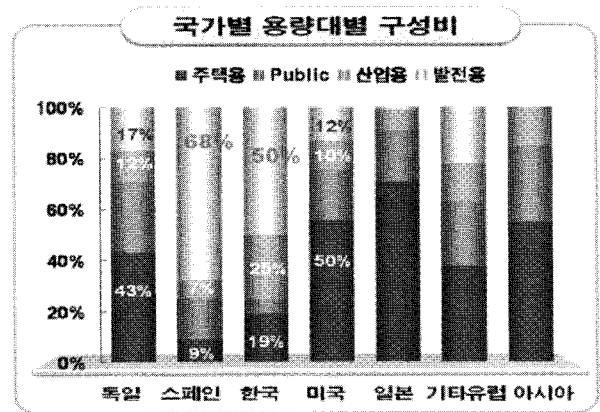


그림 4 태양광 인버터 용량대별 설치비 및 국가별 구성비

로 예상되며 규모는 수 MW의 대규모 발전단지 및 200kW 이하의 소규모 발전단지 형태의 개발이 많이 진행 될 것으로 예상되어 지고 있다.

2.2 태양광 PCS 개발동향

태양광 인버터의 유형은 태양전지 모듈과의 조합에 따라 그림 5와 같이 MIC (Module-Integrated Converter), String, Central, Multi String, Multi Central로 분류할 수 있다.

MIC 인버터는 각 모듈별 인버터를 부착하는 형태로 저용량에 사용되며, DC라인 배선이 필요치 않아 설치가 용이하며, 최대 에너지 수확(Harvest)이 가능하다는 장점이 있으나 대용량 구현 시 비용 부담이 크고 효율이 낮다는 단점이 있다.

String방식의 인버터는 700W~4kW 정도의 용량에 사용하며, 모듈 직렬군당 인버터를 사용하여 String별 MPPT 제어가 가능하나 대용량 발전소 적용할 때는 인버터의 개수가 너무 많아 유지 보수비용이 증가하게 된다.

Multi-String 방식은 모듈 직렬군당 DC/DC 컨버터를 사용하는 방식으로 String 방식과 Central 방식의 장점을 모아

놓은 형태이나 2중의 전력변환기를 사용하므로 시스템의 효율이 낮다는 단점이 있다.

Central 방식의 인버터는 50~500kW 발전시스템에 주로 사용되는 방식으로 모든 모듈의 직·병렬 조합으로 에너지 수확이 다소 낮다는 단점이 있으나 변환기의 효율이 우수하고, 출력 용량대비 단가가 저렴하다는 장점이 있어 대용량 산업용 인버터 방식으로 주로 사용된다.

Multi-Central 방식은 단일 인버터라는 표현보다는 몇 개의 인버터와 중앙 통합제어기 및 주변 회로를 가지는 일종의 인버터 시스템이라는 명칭이 더 정확할 것이다.

태양광 시장의 성장에 따라서 태양광 PCS의 가격, 효율, 전력밀도의 변화 추이는 그림 6과 같이 시장이 확대되면서 가격은 급속히 떨어지고 있다. 지금 까지 대부분의 태양광 PCS는 효율에 대한 기술경쟁 하여 최근에는 대용량 인버터의 경우 최대 효율 98% 수준에 이르고 있으며, 소용량 인버터의 경우 95%의 효율을 내고 있다. 이로 인해 각 선진사들은 과거 효율을 높이는 기술경쟁에서 PCS의 전력밀도를 높여 제품의 콤팩트화하는 기술, 가격, 신뢰성을 향상 등의 기술개발을 추진하고 있는 추세로 업체간 기술 경쟁이 심화 되고 있다.

3. 소규모 태양광 발전용 PCS

3.1 소규모 태양광 발전용 PCS 특징

소용량 태양광 발전 시스템은 자투리 공간을 활용한 형태의 발전이 많이 이루어 질것으로 예상되며, 특히 가정이나 빌딩 등의 기존 건물의 외벽이나 지붕에 설치하는 BIPV형태의 태양광 발전이 많이 이루어 질것으로 예상되고 있다.

BIPV는 그림 7과 같이 건물의 외부를 구성하는 요소로 통합된 PV시스템으로 전력생산이라는 본래의 기능에, 건물의 외부재료로서의 새로운 기능을 추가함으로써 PV시스템의 설치에 드는 비용을 절감하는 이중 효과연는 형태로 개발되고 있다. 기존의 독립된 PV시스템과 같이 설치공간을 위한 별도의 부지확보가 필요 없기 때문에 더욱 경제성 측면에서 유리한 기술이다. PV 모듈을 건축에 일체화하여 적용할 수 있는 건물 구성 요소는 커튼월, 천창, 차양, PV 지붕 타일, 투명 PV 창호 등 매우 다양하며, 그 특성에 따라 자연채광이나 차양에도 이용 가능하여 건물의 전체적인 에너지성능 및 쾌적성을 향상시킬 수 있다.

이와 같은 BIPV 시스템의 경우 태양광 발전소 설치 시 건물외관 경관을 고려하여야 하므로 모듈설계의 유연성이 있어야 하며, 구조물에 의한 그림자 발생이 많으므로 이를 고려한 시스템의 설계가 이루어 져야 한다.

최근 이와 같은 BIPV용 PCS로 MIC가 각광을 받고 있으며 이에 대한 연구 개발이 많이 진행되고 있다. MIC 인버터

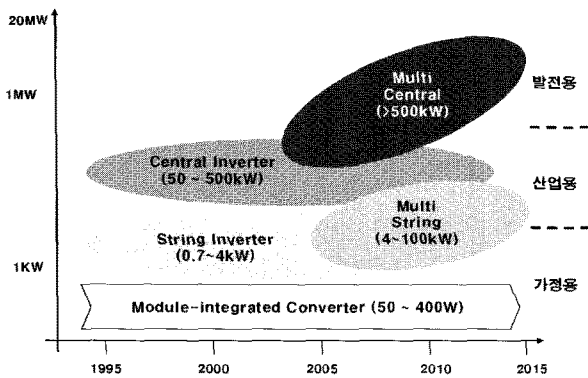


그림 5 용량별 태양광발전용 인버터의 유형

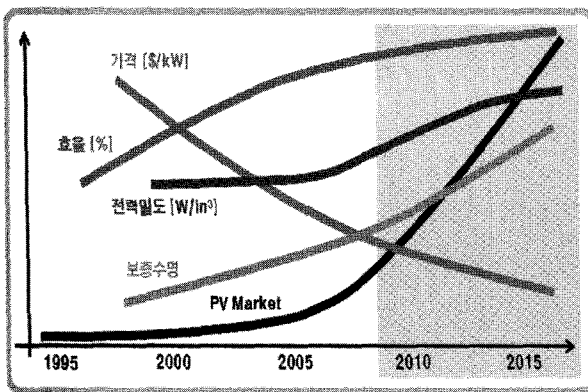


그림 6 연도별 인버터 가격, 전력밀도 및 효율 변화 추이

표 1 인버터 유형별 특징

	MIC	String	Multi-String	Central	Multi Central
구조					
특징	▶ 모듈별 DC/AC 인버터 사용 ▶ 별도의 DC 배선이 필요치 않음	▶ 모듈별군별 DC/AC 인버터 사용 ▶ String별 MPPT 제어 가능	▶ 모듈별군별 DC/DC 변환기 및 단일 DC/AC 인버터 ▶ 전력변환기 2중화로 효율이 낮음	▶ 중앙에 단일 DC/AC 인버터 사용 ▶ 구조가 간단하며 유지보수가 용이함	▶ Central 구조를 보완한 형태 변압기 및 주변회로 최적 설계로 시스템 효율 최적화
Cost	×	○	△	◎	◎
효율	○(95%, 변압기제외)	○(95%, 변압기제외)	△(94%, 변압기제외)	◎(98%, 변압기제외)	◎(97%, 변압기포함)
Harvest	◎	○	○	△	△
유연성	◎	△	○	×	×

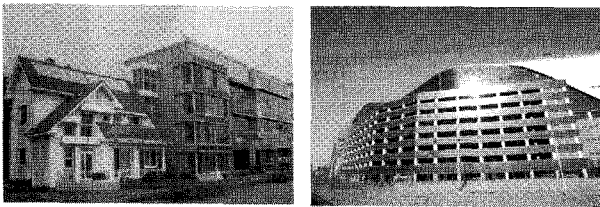
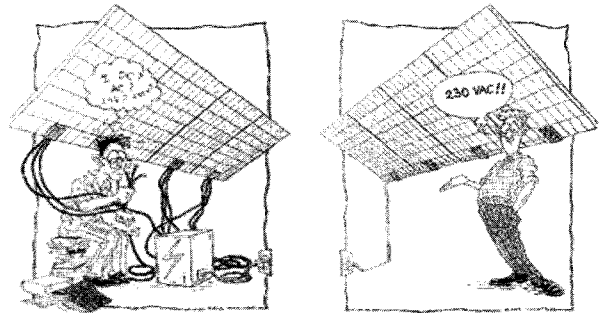


그림 7 국내 BIPV 설치 사례



(a) Central 인버터

(b) MIC 인버터

그림 9 MIC와 Central 태양광 인버터가 적용된 시스템

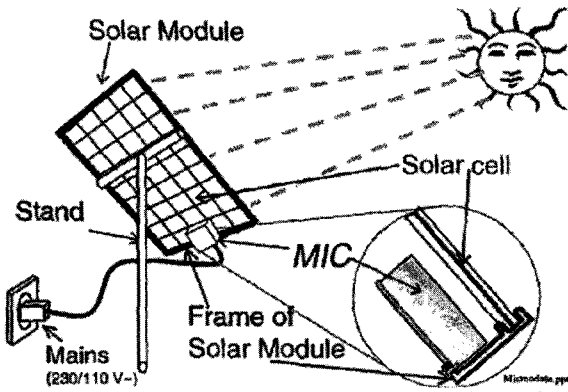


그림 8 MIC 태양광 인버터 개념도

는 그림 8과 같이 각 태양광 모듈에 개별 인버터를 부착하는 방식으로 기존 Central 방식에 비해 DC 배선을 하지 않아도 되므로 설치가 간단하고 각 모듈별로 최대전력 제어가 가능하므로 에너지 회수율이 높으며, 모듈별 모니터링을 통한 고장 모듈의 분석이 용이하다는 장점을 가지고 있으나 모듈별 인버터 부착으로 인한 비용의 증대 및 인버터의 효율이 다른

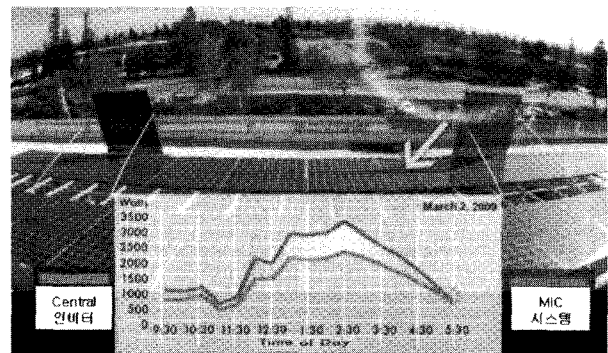


그림 10 MIC와 Central PCS 발전량 비교

방식에 비해 낮다는 단점이 있다.

그러나 그림 10에서 보는 바와 태양광 모듈에 일정한 그림자가 영향을 주는 경우 동일용량 태양광 발전 시스템에서

표 2 MIC 인버터 비교

	ZSW	Sunmaster 130S	OK4-100	Sunsine300	MI250	Soladin120	OK5	M210
용량(W)	100	110	100	300	240	120	200	210
PV 저압(V)	24~	24~40	24~50	36~75	52~92	24~50	48~120	25~40
THD(%)	2	<5	<3	<5	<3	-	<3	-
최대효율	>0.90	0.92	0.94	0.92	0.90	0.93	0.94	95
전력밀도(W/cm ²)	0.1	0.08	0.3	0.11	0.19	0.2	0.16	0.24
절연방식	LF	HF	HF	LF	HF	HF	HF	HF

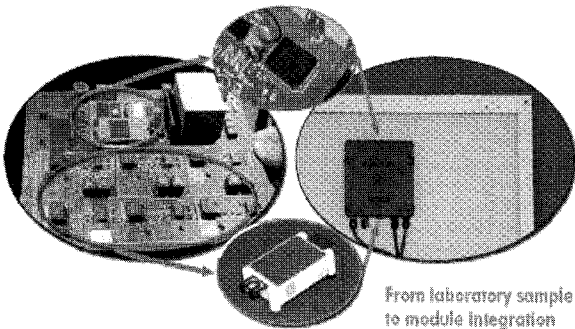


그림 11 PV_MIPS의 개발 방향

Central 방식의 인버터 대비 MIC 인버터를 사용하는 경우 5 ~ 20%의 에너지 회수율이 높으므로 BIPV 시스템에 최적 PCS라 할 수 있다.

3.2 MIC PCS 동향

MIC 인버터는 미국과 유럽을 중심으로 개발이 진행되고 있으며, 개발된 제품으로는 표 2에 나타난 바와 같이 NKF Electronics, Emphase, Dantrafo 등의 업체가 개발한 제품이 있다. 특히 EU에서는 모듈형 인버터의 중요성을 인식하고 PV-MIPS(PhotoVoltaic Module with Integrated Power conversion System) 프로젝트를 통해 인버터 일체형 모듈 개발을 진행 하고 있다. PV-MIPS 프로젝트는 그림 11에서 보는 바와 같이 태양광 PCS의 저가격화, 고집적을 통한 고전력밀도화, 고효율화가 목표로 되어 있다.

4 대규모 태양광 발전용 PCS

4.1 대규모 태양광 발전용 PCS 특징

대규모 태양광 발전설비에 해당하는 200kW이상 태양광 발전설비 설치 추세는 2012년 5.5GW로 CAGR 76% 성장 예상되며, 누계설치기준으로 2007년 0.88GW 대비 2008년 2.0GW로 2008년에 급격히 증가하고 있고 향후 MW단위 이상의 대용량 발전플랜트가 증가할 것으로 예상되고 있다.

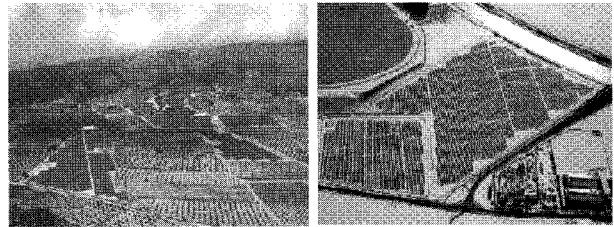


그림 12 대규모 태양광 발전설비

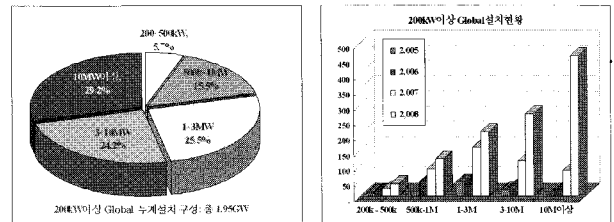


그림 13 세계 대규모 태양광발전 설비 현황


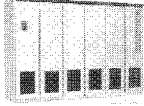
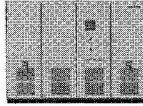
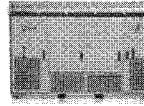
대규모 태양광 발전단지의 설치용량은 2008년 누계기준으로 200kW~1MW 21.2%, 1~3MW 25.5%, 3MW이상이 53.4%로 절반을 넘고 있음. 특히 3MW 이상의 발전단지는 2006년 35%에서 2008년 66%로 급성장세를 보이고 있으며 이는 발전단지가 점차 대형화 추세로 가고 있음을 알 수 있다.

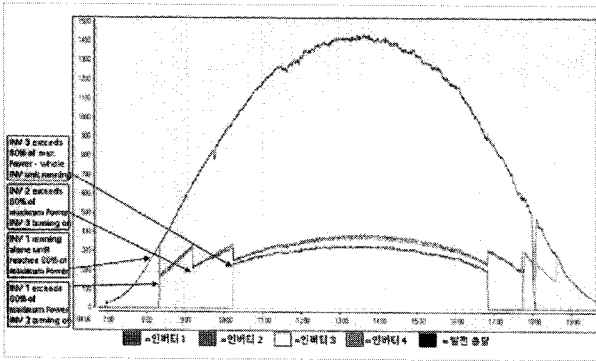
4.2 대용량 PCS 동향

대용량 산업용 태양광 인버터는 Central 방식의 인버터가 주를 이루고 있으며, 유럽을 중심으로 지속적인 연구개발 과제가 활발하게 진행 중에 있으며, 특히 독일, 일본, 캐나다 등 선진국에서 대용량 인버터를 주력으로 생산하고 있다. 단일 용량 500kW급 대용량 태양광 인버터는 표 3에 나타난 바와 같이 SMA사의 SC500HE, Siemens사의 SINVERT 420, Xantrex사의 GT500E, Satcon사의 PowerGate Plus 500 등이 있다.

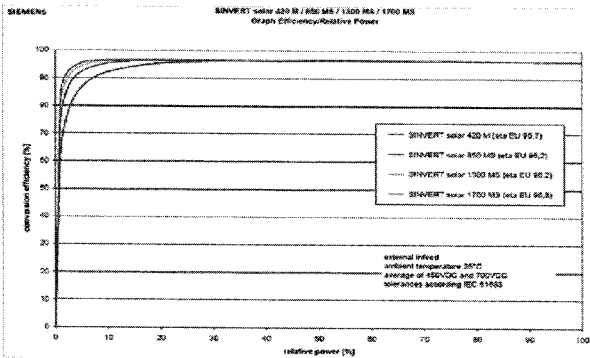
Central 방식은 단일 인버터 사용으로 계통보호가 유리하며, 유지 보수비용이 작다는 장점은 있으나 단일 인버터를 사

표 3 대용량 인버터 비교

모델명	SC500HE	SINVERT420	GT600E	PowerGate Plus 500
회사(국가)	SMA(독일)	Siemens(독일)	Xantrex(캐나다)	Satcon(캐나다)
구조				
최대 개방 전압(Vdc)	880	900	880	600(UL), 900(CE)
정격 MPPT 전압(Vdc)	450~8020	450~750	450~800	320~600(UL), 430~850(CE)
정격 용량(kW)	500	420	500	500
전류왜율(THD)	< 3%	< 3%	< 3%	< 3%
역률@정격출력	0.99	0.99	0.99	0.99
효율(Efficiency, %)	98.3%(Euro)	95.7%(Euro)	97.3%(CEC)	97%(CEC)
내부 소모전력(W)	100W 미만	100W 미만	100W 미만	-
전력밀도(W/in ³)	0.0991	0.0972	0.1626	0.0559



(a) 발전기별 및 시스템 출력곡선



(b) Multi-Central 구성시 효율 변화

그림 14 Siemens SINVERT 효율 및 인버터 동작 특성

용하므로 인버터 고장시 전체 시스템이 작동하지 못하는 단점을 가지고 있어 이 같은 단점을 보완하기 위한 방법으로 Central 인버터를 병렬 연결하여 하나의 인버터 시스템을 구

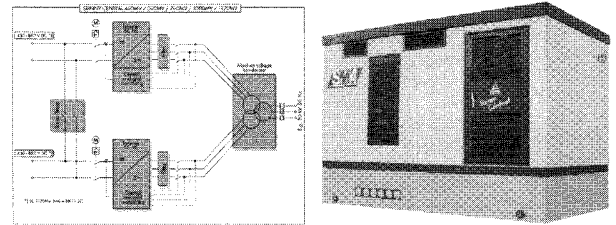


그림 15 SMA사의 Multi-Central 방식 SC1000MV 인버터 시스템

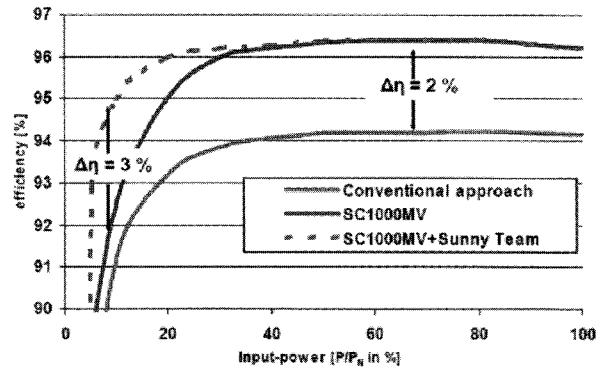


그림 16 SMA 사의 Multi-Central 인버터 효율 특성 그래프

현하는 방식인 Multi-Central 방식이 많이 개발되고 있다.

Multi-Central 방식은 Central 방식의 인버터를 병렬 연결한 구조로 발전 시스템 구성 시 1개의 인버터가 아닌 여러 대의 인버터로 구성되어 있으므로 1개의 인버터가 고장 시 다른 인버터에서 발전이 가능하다는 장점이 있으며, 특히 일몰, 일출 및 기상 좋지 않은 상황에서 모든 인버터가 구동하지 않

고 몇몇 인버터만 구동시킴으로 효율을 극대화할 수 있다는 특징이 있다.

Multi-Central방식의 인버터로는 Siemens SINVERT는 그림 14에서 나타낸 바와 같이 최대 4대의 SINVERT420을 조합하여 MW급 출력이 가능하도록 구현한 방식으로 Master-Slave 방식의 제어를 통하여 인버터 효율 및 수명 개선하도록 구성하고 있다.

또한 SMA사는 중압 변압기 Multi-Central 방식을 도입하여 기존의 2중 변압기를 상용하는 방식에 비해 전반적으로 약 2%이상의 효율을 상승 시켰으며, Sunny Team을 이용하여 낮은 에너지 출력시 효율을 최대 3%이상 향상 시킬 수 있게 하였다.

5. 결론

본고에서는 태양광 발전 시장동향 및 태양광 PCS의 기술개발 동향에 대해 기술하였으며, 특히 태양광 PCS의 경우 소용량 및 대용량에 적합한 형태의 구조 및 개발 동향에 대해 설명하였다. 현재 개발이 진행되는 태양광 PCS 중 소용량 태양광 발전용으로는 BIPV를 이용한 태양광 발전시스템 및 MIC에 대하여 기술 하였으며, 대용량으로는 Central 및 Multi-Central 인버터의 기술개발 동향에 대해 간략히 정리하였다. 또한 다양한 개발제품에 대한 소개 및 개발 방향을 설명하기 위해 각각의 PCS에 대해 해외 선진사의 제품에 대한 특성을 비교 하였다. ■

참고문헌

- [1] "GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS: SURVEY OF INVERTER AND RELATED PROTECTION EQUIPMENTS" IEA PVPS T5-05: 2002.
- [2] NKF Electronics - OK5, <http://www.nkf.nl/>
- [3] Enphase energy, <http://www.enphaseenergy.com/>
- [4] Mastervolt, <http://www.mastervolt-solar.com/>
- [5] Dantrafo A/S, www.dantrafo.dk
- [6] "Urban BIPV in the New Residential Construction Industry," IEA-PVPS_T10-03-2006
- [7] "State of the Art Analysis for the 'SolcelleInverter' project," Aalborg University · Institute of Energy Technology

〈 필 자 소 개 〉



박성준(朴星濬)

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2002년 동 대학원 지능 기계공학과 졸업(공학박). 1996년 3월~2000년 2월 거제대학 전기과 조교수. 2000년 3월~2003년 8월 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년 8월~현재 전남대 전기공학과 부교수.



송성근(宋成根)

1975년 9월 16일생. 1998년 전남대 공과대학 전기공학과 졸업. 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 8월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2001년~2004년 (주)프로컴 시스템 연구원. 2007년~현재 전자부품연구원 디지털컨버전스연구센터 책임연구원.



김용구(金容求)

1969년 12월 29일 생. 1995년 전남대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 공학석사. 2000년 동 대학원 전기공학과 공학박사. 2004년~현재 한국폴리텍V대학 전기계측제어과 조교수.