

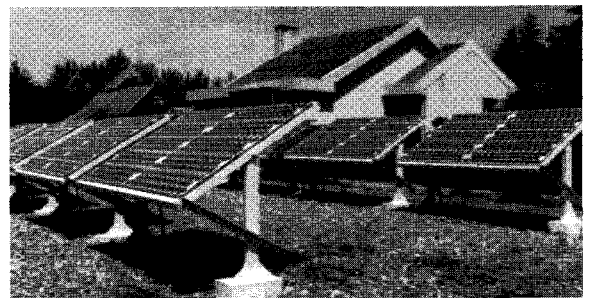
주택용 태양광 발전용 인버터기술

김신섭 | 헥스파워시스템(주) 대표이사

1 ■ 머리말

최근 대체에너지 전원으로 주목받고 있는 태양광 발전은 대체에너지 기술 중에서 가장 실용화에 근접하여 있고 운전이 쉬우며, 유지 및 보수가 간단하고 발전규모 선택이 자유롭다는 여러 가지 장점을 가지고 있어 미래의 자원고갈에 대처할 수 있는 유력한 대체에너지원으로 각광을 받고 있을 뿐 아니라 최근 문제되고 있는 환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특징을 갖고 있다.

특히 주택용 태양광 발전시스템은 계통에 연계되는 형태로서 최대전력을 발전하는 시간대가 하절기

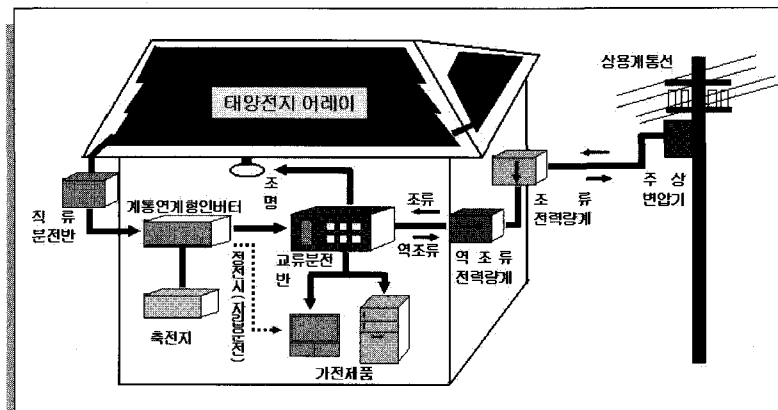


피크 전력 소비시간대와 비슷하여 주택 및 건물의 지붕이나 옥상, 벽면 등에 설치함으로써 전력 수급 불균형 해소에 기여할 수 있고 국토의 효율적 사용이 가능한 전력공급원으로 그 활용이 가능하다.

태양전지를 전원으로 하는 주택용 직·교류 전력

변환시스템은 상용 전력계통과 병렬 접속하기 때문에 배전선의 상태 변화에 대한 추종성이 양호함과 동시에 계통의 주파수나 전압 변화에 대한 운용 능력, 계통 사고시에 적절히 대응하는 기능 및 자체 발생 고조파로 인한 통신유도 장애가 발생하지 않도록 하는 능력을 보유하여야 한다. 최근에는 태양광발전 계통연계형 시스템의 배전선과의 연계 운전시에 계통의 정전 또는

> 그림 1. 주택용 태양광 발전 계통연계 시스템의 개요도



사고 발생시 태양광 시스템 발전출력의 역충전에 의한 일부 계통의 부분적인 단독운전을 방지할 수 있는 보호검출 기술의 강화가 요구되고 있다.

2 ■ 주택용 태양광 발전 계통연계형 인버터

주택용 태양광 발전 계통연계시스템은 그림 1에 나타난 것과 같이 주택의 지붕에 인버터의 입력전압에 맞는 직렬 접속된 태양전지 어레이를 병렬 접속하여 발전전력을 결정한다. 태양전지 어레이의 병렬 접속 수에 맞추어 직류배전반이 결정되고, 이것을 경유하여 인버터에 직류전력이 공급된다.

인버터는 직류전력을 교류전력으로 변환하지만 계통과 동기운전을 하면서 고조파 전류가 적은 정현파 전류를 부하기 및 계통에 공급한다. 또, 인버터는 태양전지의 최대 출력전력을 발전하기 위하여 최대 전력추종제어를 하고 있다.

부하기의 작동이 적은 경우, 인버터는 잉여전력

을 계통에 역조류시켜 전력을 상용계통에 공급하게 된다.

최근 외국에서는 인버터에 자립운전(정전시에도 태양광발전으로 운전가능)기능을 내장시키고 있기 때문에 전용부하기에 전력을 공급할 수 있다. 더욱이, 축전지를 추가 설치함으로써 부하평준화시스템으로 활용도 가능하게 기능을 다양화하고 있다.¹⁾

2.1. 계통연계형 인버터의 종류

주택용 태양광발전 계통연계형 인버터의 종류는 변압기와 회로구성에 따라 다음의 세 가지로 구분된다.

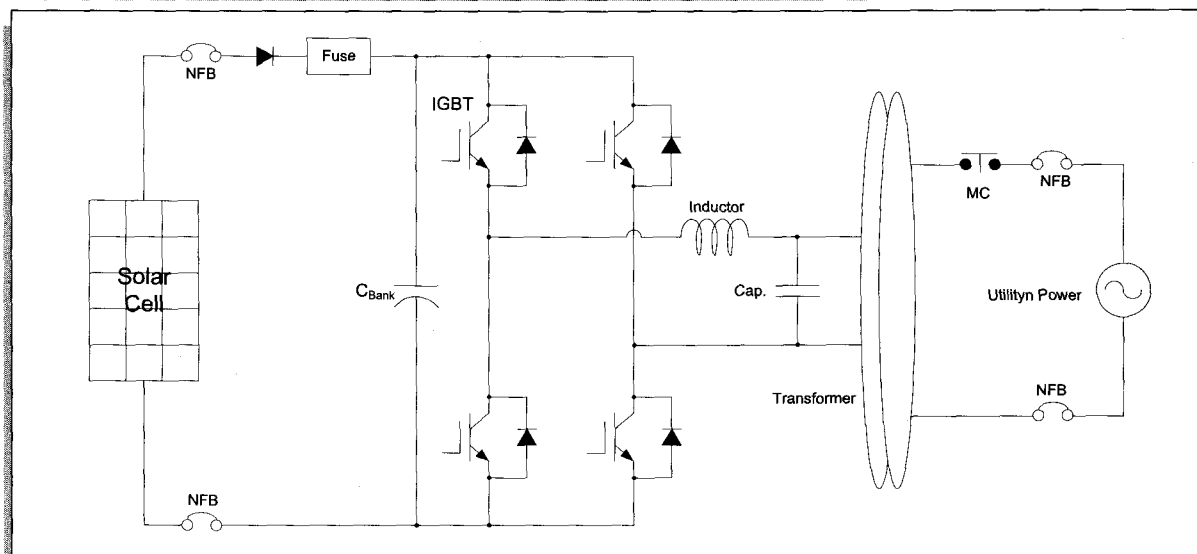
① 저주파 절연 변압기 내장형

현재 국내외에서 가장 일반적으로 제작, 설치되고 있는 계통연계형 인버터의 주류로 회로구성이 간단하고 안전성이 높은 반면, 효율이 낮고 부피가 크며, 중량이 무거운 단점을 가지고 있다.

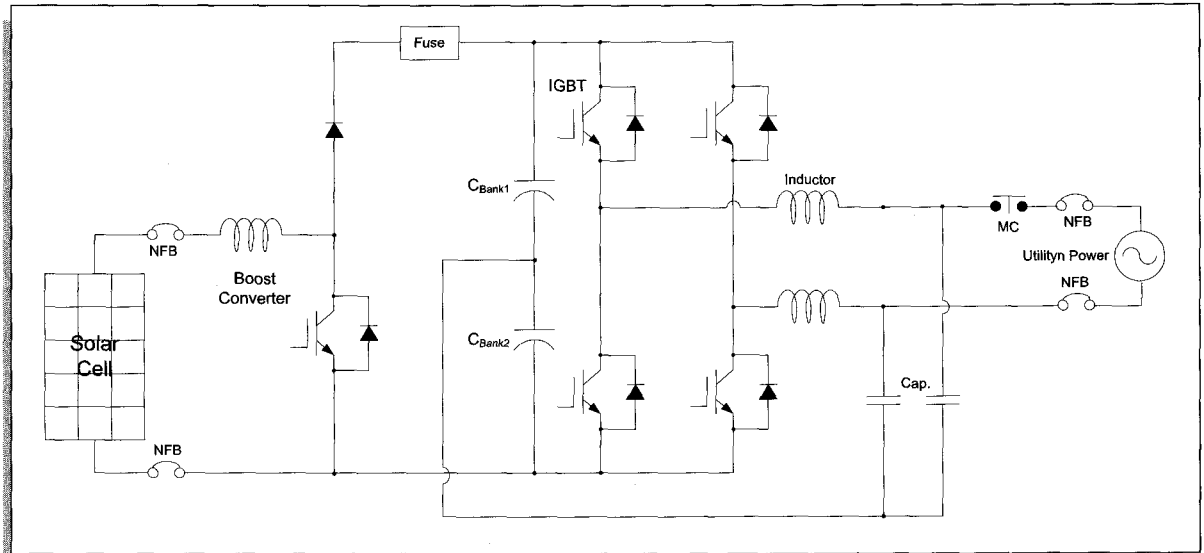
② 무변압기(Transformerless)형

최근 국내에서 개발을 시작한 형태로 효율이 높고

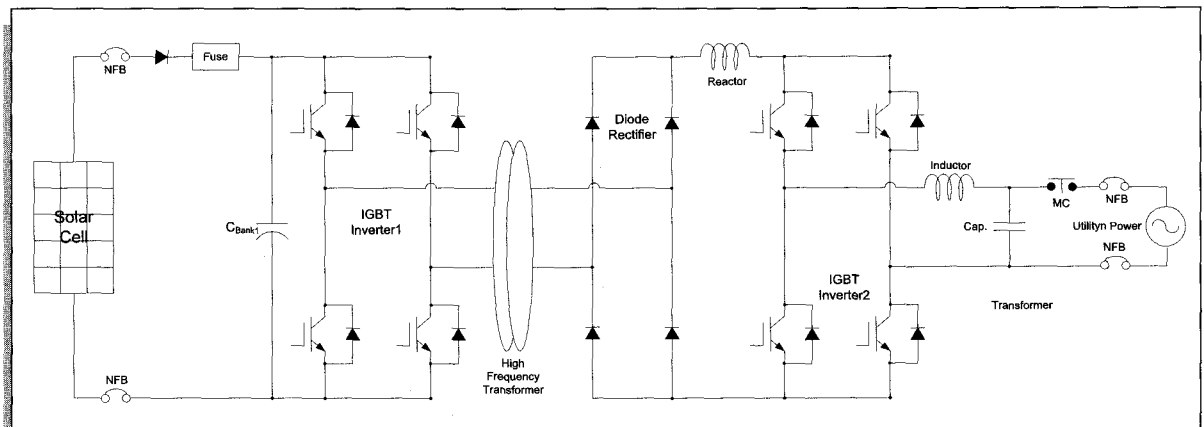
> 그림 2 저주파 절연변압기 내장형



> 그림 3 무변압기(Transformerless)형



> 그림 4 고주파링크형



소형경량화에 유리하여 차후 주택용 태양광 발전 계통연계형 인버터의 표준형이 될 것으로 전망이 되며, 단점으로는 회로구성에 있어 승압형 쇼퍼가 인버터 입력단에 구성되므로 복잡하고, 고조파전류가 많으며, 비절연관계로 직류 유입 등의 안전성과 제어가 어렵다.

③ 고주파 링크형

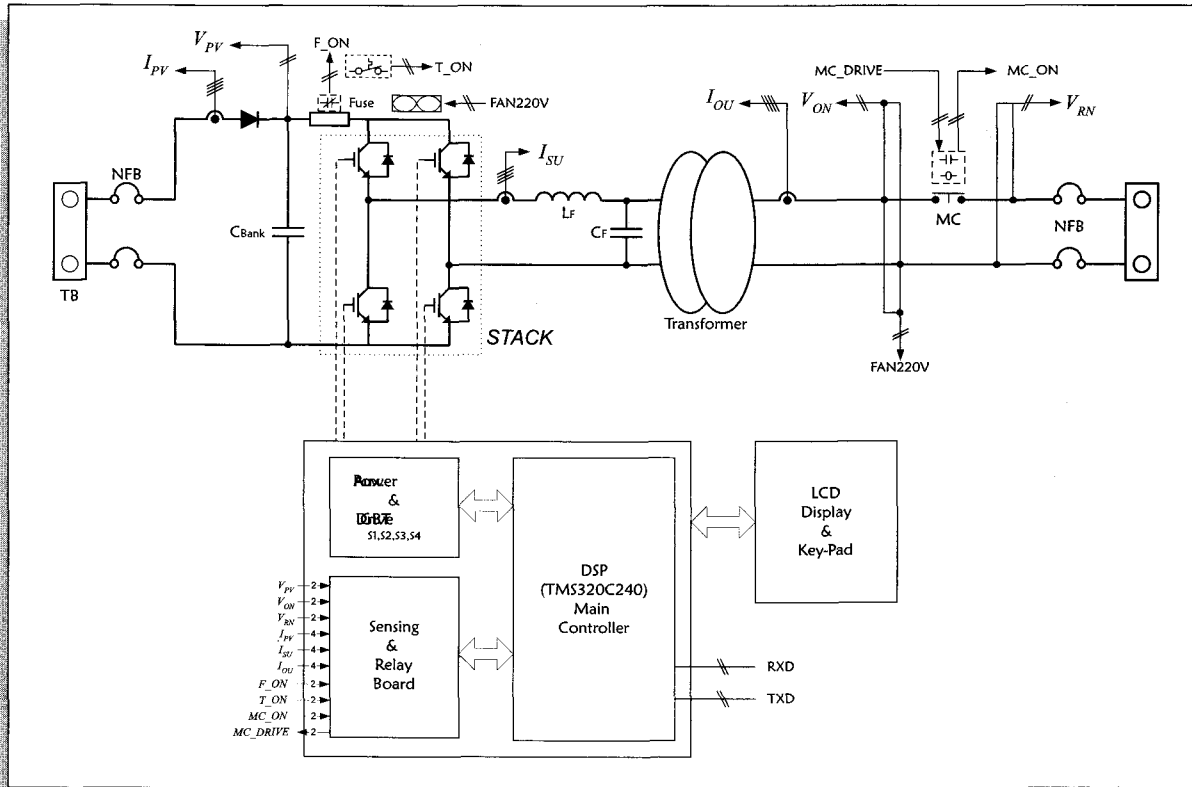
최근 국내에서도 개발이 되기 시작한 형태로 효율

이 낮고 고주파 스위칭으로 인하여 소형경량화에 유리하며 절연형이므로 안전하나 회로구성이 복잡하다.²⁾

2.2. 인버터의 구성

주택용 태양광발전 계통연계형 인버터의 하드웨어적 구성은 태양전지로부터 직류전원을 안전하게 공급받도록 구성된 입력부, 직류전압을 교류전압으로 변환하는 전력변환부, 절연 및 전압의 크기를 변성하는 변압기, 계통선에 안전하게 전력을 공급하는 계통

> 그림 5. 태양광발전 계통연계형 인버터의 전력회로도



연계부, 각 부분을 제어하기 위한 주제어기부, 각종 신호를 감지하고 보호 동작을 위한 접점 출력을 발생시키는 센싱 및 릴레이부, 시스템에 필요한 직류 전원을 공급하기 위한 보조전원 및 IGBT를 적절히 구동하기 위한 보조전원 및 IGBT 구동회로부, 각종 표시 및 설정/제어를 위한 디스플레이 및 키-패드부 등으로 구성된다.

인버터의 전력회로부는 태양전지로의 역류를 방지하기 위한 다이오드가 구성되었고, 입력전압의 안정화를 위한 입력단 캐패시터, 전력변환부의 이상시 보호 및 안전을 위한 퓨즈, 4개의 IGBT를 이용하여 단상 풀-브리지(Full-Bridge)로 구성된 직류-교류 변환부, 교류 출력의 필터링을 위하여 인덕터와 캐패시터로 구성된 필터부, 절연 및 전압 변성을 위한 변압기, 출력단의 연결을 제어하기 위한 M/C, 입출력단

을 수동으로 연결하기 위한 NFB를 구성되어 있다.

인버터는 입출력 전압 및 전류신호 등 여러 가지의 신호를 감지하고 주제어기는 이를 바탕으로 안정된 작동을 위한 제어를 수행하게 된다. 제어기는 시스템 각부의 전압 및 전류를 센싱 받아 인버터 제어를 위한 제어신호와 IGBT 구동신호, M/C 구동신호 등의 각 장치의 구동신호와 온도센서 접점, 출력단 M/C 등의 감시신호, 주회로기판과 각 보조회로 기판간의 연결을 위한 Signal Bus, 원격제어 및 감시를 위한 외부 인터페이스 등의 안정된 동작을 위한 신호를 처리한다.³⁾

2.3. 인버터의 특성

다음의 표 1은 현재 설치 운용되고 있는 3kW급 주택용 태양광 발전용 계통연계 인버터의 특성이며,

> 표 1. 주택용 태양광발전 계통연계형 인버터의 특성(예)

구분	항목	내용	
시스템 구성	출력 상수	단상	
	태양광 입력 제어방식	MPPT	
	인버터 제어방식	PWM Inverter	
	스위칭 소자	IGBT	
태양전지 (1cell)	개방전압	21.5 [VDC]	
	최대 출력전압	17.4 [VDC]	
	최저 동작전압	14 [VDC]	
	용량	53 [W]	
태양전지 입력전압	태양전지 직렬개수	20[ea]	
	정격전압	330 [VDC]	
	전압변동범위	280~380 [VDC]	
출력	정격 출력용량	1[kW], 3[kW], 5[kW]	
	정격 출력전압	계통선 전압 (220[Vac])	
	계통 전압변동을	±10[%] 이내	
	정격출력 주파수	계통선 주파수(60[Hz])	
	정격출력 주파수 변동	계통선 주파수와 동기	
	계통 주파수 변동율	±3[Hz] 이내	
	출력단 전류파형 왜율	3[%]이하	
	효율	90[%]이상	
	역률	98[%]이상	
환경 및 기구	과부하량	110[%]	
	절연 내압	1,500[VAC], 1[min], 5[mA]	
	절연 저항	500[VDC], 5[MΩ]이상	
	소음	50[dB]이하	
	냉각방식	강제공냉식	
기 타	외형	259×400×410 [mm]	
	무게	45[kg]이하	
	조작	차단기	
		Key-pad	
		System Start	
		System Stop	
	상태 표시 (Graphic Mimic Display)	Meters Menu	
Alarm Menu			
System Setup Menu			

표 2는 이상 사고시 인버터의 보호특성의 한 예를 나타낸 것이다.³⁾

2.4. 인버터의 기술요건

주택용 태양광발전 계통연계형 시스템은 태양전기 출력을 최대한으로 활용하기 위하여 태양광 발전출력이 가정의 부하를 상회한 때에는 그 여분을 배전선에 보내는 역조류운전을 하고, 우천, 야간 등 발전출력이 부족한 때에는 계통에서 공급받는 양방향 조류

> 표 2. 이상 사고시 인버터 보호특성(예)

항목	조건	보호 동작상태	비고
입력 과전압	H/W:450[VDC], S/W:400[VDC], 0.1[sec]이상	인버터 정지 입력 과전압 표시 경보음	
	H/W:250[VDC], S/W:260[VDC], 0.1[sec]이상	인버터 정지 입력 저전압 표시 경보음	
정전	계통전원 정전	인버터 정지 정전 표시 경보음	600[ms] 이내
주파수 이상	60±3[Hz]외, 0.6[sec]이상	인버터 정지 주파수 이상 표시 경보음	경계점 허용 오차:±3[%]
계통선 저전압	198[Vac]	인버터 정지	경계점 허용
	(정격-10%)이하	Line 저전압 표시	오차:±3[%]
계통선 과전압	242[Vac]	인버터 정지	경계점 허용
	(정격+10%)이하	Line 과전압 표시 경보음	오차:±3[%]
시스템 과열	85[°C] 이상 온도접점 open	인버터 정지 과열 표시 경보음	
Fuse Open	Inverter Fuse Open	인버터 정지 Fuse Open 표시 경보음	

방식에 효과적이다. 따라서 향후 계통연계 태양광발전시스템이 실용화 보급되어 다수의 시스템이 계통연계 할 경우 여러 가지 문제가 발생하는데, 그 중 대표적인 것을 들면 다음과 같다.

- ① 계통전력 품질 열화의 문제 : 전압변동의 증대, 불필요한 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통 전력 품질의 열화
- ② 계통보호, 안전성의 문제 : 배전선 보호 시스템에 의한 교란에 의한 공급 신뢰도 저하, 태양광발전시스템으로부터의 역조류에 의한 선로작업시 안전성의 저하

이 중 ①의 문제는, 일사량 변화에 따른 태양광발전 출력의 변동성분이 계통에 영향을 주고 또 태양광발전 시스템이 직·교류 전력변환에 전력반도체 스위칭 소자를 사용하기 때문이다.

태양전지 출력변동에 의한 전압변동요인은 발전원 이상 일사량 조건에 의존하기 때문에 필연적인 것이라 볼 수 있다. 최근 전력전자 기술의 급속한 발전에 따라, 가전·OA기로부터 산업용 기기에 이르기까지 폭넓게 반도체 응용기기의 보급이 증가하였다. 이에 따라 고조파 전류의 총량이 눈에 띄게 증가하여, 전력계통의 전압왜곡으로 인한 각종 장애가 발생함으로써 고조파가 가장 큰 문제가 되고 있다. 더욱이 개인주택용을 비롯한 계통연계형 태양광발전시스템의 보급이 보편화 될 경우 직·교류 변환장치 사용에 따른 고조파 유입에 의해 계통의 전력품질이 더 악화될 우려가 있다.

고조파 억제 방법 및 대책 중에서 가장 바람직한 방법은 장치로부터 고조파를 발생시키지 않도록 하는 것이다. 그러나 스위칭을 기본 동작으로 하는 반도체 전력변환장치에 있어서는 본질적으로 고조파를 발생시키지 않는 것은 극히 곤란하다. 그러나 장치의 용도에 따라 PWM 제어 방식을 채용하고, Active Filter를 부착하여 적극적으로 고조파를 제거하는 방

법, 다상화 또는 Multi-level 화하는 방법이 사용되고 있다.

따라서 태양광 발전용 인버터의 경우 다수의 시스템이 계통에 연계될 것에 대비하여 고조파 발생에 의해 계통의 전력 품질을 악화시키지 않거나 개선시킬 수 있는 기능의 보완이 필요하다.

한편 ②의 문제는 태양광 발전시스템을 갖는 수용가를 배전계통에 연결할 때 종래 볼 수 없는 이질적인 부하(역조류 전원)가 되기 때문에 배전계통의 전력조류가 전원으로부터 부하로 흐르는 일방성의 형태가 아니라 전원과 부하가 혼재되어 있는 형태가 된다. 이에 따라 전력 계통의 보호협조 및 인버터 단독 운전 가능성에 의한 검토가 필요하다.

이러한 계통연계 인버터의 연계시 문제점에 대해 현재 상태에서 생각할 수 있는 대책으로서는

- ① 격심한 출력 변동의 영향을 피하기 위하여 최저 한도의 축전지(발전 능력의 30분~3일 정도의 저장능력) 또는 큰 용량의 캐패시터를 설치하여 출력의 안정화 또는 수요시간대로의 전력이동을 꾀한다.
- ② 계통전압의 변동과 고조파 전압의 증대를 억제하기 위하여 인버터에는 자려식을 채용하고, PWM화, 고조파 스위칭 방식을 추진한다.
- ③ 계통사고시에 있어서 배전선 보호 시스템과의 보호 협조 및 선로 작업시의 안정성을 확보하기 위하여 제어전원을 계통으로부터 취하는 자려식 인버터를 채용한다.
- ④ 계통사고시의 이상상태 및 선로 작업으로 인한 계통전압의 상실을 정확히 검출하기 위하여 계통의 전압 주파수를 검출하는 기능 이외에 단독 운전(Islanding 현상)을 검출할 수 있는 수동적 또는 능동적 검출 방법을 사용한다.

이상의 조건을 갖는데 필요한 주택용 태양광 발전 계통연계형 인버터의 필요기능은 다음과 같다

① 최대전력추종(MPPT) 제어기능

태양전지는 일사량 및 온도에 의해 출력특성이 변화하여 최대 전력을 얻을 수 있는 최대전력점도 바뀌게 된다. 그러므로 최대전력점에서 인버터가 운전할 수 있도록 최대전력점을 언제나 감시하여 응답제어를 하도록 최대전력 추종제어 기능이 요구된다. 최대 출력점 추종제어의 방법으로는 전력비교법(P&O Method : Perturb and Observe Method)과 도체증분법(IncCond Method : Incremental Conductance Method)이 주로 사용되며 현재, 학문적으로 퍼지(Fuzzy)제어, 적응(Adaptive) 제어등의 비선형제어기법들의 적용이 시도되고 있다. 전력비교법(P&O Method)은 알고리즘이 간단하여 디지털 방식으로 구현하기가 용이하며 태양전지의 파라미터에 영향을 받지 않으므로 태양전지의 노후로 인한 특성변화에 무관하게 동작하는 장점이 있다. 하지만, 수렴속도가 느리므로 급격한 일사량의 변화에 대한 추종능력이 떨어지며 최대출력점 부근에서 미소진동하므로 효율이 저하되는 단점이 있다. 도체증분법(IncCond Method)은 태양전지 컨덕턴스 및 컨덕턴스의 변화율(미분)을 이용하는 방식으로 전력비교법에 비해 추종능력을 개선하는 장점이 있으나 디지털 방식으로 구성하는 경우 샘플링 구간의 문제, A/D 변환 오차, 노이즈에 의한 측정오차 등으로 인하여 급격한 일사량의 변화에 대하여 최대출력점 추종에 실패할 수 있는 단점이 있다.

② 고효율 제어

IGBT는 스위칭 동작 주파수를 고주파 스위칭을 하게 되면 스위칭 손실이 증가하게 된다. 스위칭 손실을 최대한 억제하기 위한 회로방식 및 제어기 필요함과 동시에 제어회로 등의 고정손실도 최대한으로 억제시킬 필요가 요구된다. 또 야간 등과 같이 발전할 수 없을 경우, 즉 무부하 상태의 손실을 최소화하

는 것도 총 발전량을 많게 하기 위하여 필요로 한다.

③ 소음 저감

실내 설치를 고려하면 인버터에서의 소음을 최소화시킬 필요가 있다. 이 때문에 스위칭 주파수를 약 20kHz로 가청주파수 이상으로 함과 동시에 저소음형 브러쉬레스 타입형 전동기 냉각팬을 사용하는 것도 소음저감을 위하여 중요한 포인트중의 하나이다.

④ 직류분 제어기능

인버터에서는 자체의 이상에 의해 교류출력에 직류성분이 혼입하여 계통에 유입하면 주상변압기의 편자현상등에 의해 계통이나 다른 수용가 설비에 고장을 유발할 수 있는 영향을 미칠 염려가 있다. 국내에서는 이에 대한 규제규격이 없지만 외국의 경우는 0.0인버터의 정격교류출력전류의 1%이하, 검출시간 0.5초이내로 엄격히 규제하고 있다. 계통연계형의 인버터는 상기의 규제기준 이하로 직류성분의 유출을 억제할 수 있는 제어기능이 요구되고 있다.

⑤ 직류지락 검출기능

무변압기형 인버터에서는 직·교류간이 절연되어 있지 않기 때문에 직류회로에 지락이 발생하면 계통측에서 인버터를 통하여 지락전류가 흐르게 된다. 지락전류 검출에는 ZCT(영상변류기)를 사용하고 있기 때문에 직류지락전류가 흐르게 되면 ZCT의 자기포화를 일으켜 지락검출불능 상태가 될 가능성이 있다. 누전차단기에서의 검출불능의 가능성을 고려하여 인버터내부에 직류지락검출회로를 추가하여 검출한 경우는 인버터를 정지함과 동시에 계통으로부터 분리되도록 시퀀서를 설계, 설치할 필요가 있다.

⑥ 고조파 억제

인버터로부터 역조류된 전류에 포함된 왜율이 크

면 계통 및 부하설비에 손실증대와 기기 손상 등의 영향을 줄 우려가 있기 때문에 일반적으로 각차 전류 왜율 3% 이하, 종합 전류왜율 5% 이하 기준치를 적용하여 개발하는 것이 요구되고 있다. 고조파를 억제하기 위하여 인버터는 일반적으로 전류파형을 양질의 정현파로 만들기 위한 제어를 하게 되며, 부가적으로 필터를 설치하게 된다.

⑦ 고주파억제

인버터는 전력용 반도체 스위칭 소자 IGBT를 고속으로 ON, OFF동작을 반복하기 때문에 고주파 노이즈를 발생하고 있다. 고주파의 노이즈는 TV, 라디오 등의 기기에 불필요한 잡음과 화면의 찌그러짐, 기기의 오동작 등에 영향을 주게 된다. 국내에서는 이에 대한 구체적인 규제기준이 없으나, 외국에서는 계통연계 태양광발전용 소형(10kVA이하) 인버터의 경우 잡음단자전압을

㉓ 0.5MHz~30MHz 이하 : 73dB(μ V)이하

㉔ 0.15MHz~0.5MHz 이하: 79dB(μ V)이하

로 규제하고 있다. 국내에서도 분산형 전원용 인버터를 개발할 경우 상기의 기준치를 적용할 필요가 있으며, 이를 적용함으로써 다른 기기에 미치는 영향을 최소화할 수 있다고 사려된다.

⑧ 계통연계 보호기능

인버터의 고장 및 계통 사고시에 사고의 제거, 사고범위의 극소화를 위하여 인버터를 정지하고 계통과 분리할 필요가 있으므로 일반적으로 아래의 네 가지 검출요소를 갖추어야 한다.

㉕ 과전압계전기(OVR : Over Voltage Relay)

㉖ 부족전압계전기(UVR : Under Voltage Relay)

㉗ 주파수상승계전기(OFR : Over Frequency Relay)

㉘ 주파수저하계전기(UFR : Over Frequency Relay)

⑨ 단독운전 방지기능

계통 사고시에 인버터가 부하용량과 평형을 유지하여 이상현상을 검출하지 못하고 운전을 계속하는 상태를 단독운전이라고 한다. 단독운전이 발생하면 계통이 상위에서 차단되어 있어도 저압측으로부터 전압이 유기되기 때문에 안전면에서 문제가 발생한다. 현재까지 개발된 단독운전방지기능 검출기법으로는 수동적 방식과 능동적 방식으로 크게 분류할 수가 있으며, 외국에서는 수동적 방식과 능동적 방식의 각각 하나의 방식 이상을 조합하여 검출기법으로 사용하고 있다. 지금까지 외국에서 개발된 회로방식으로는 능동적 방식으로 ㉙ 주파수 Shift방식, ㉚ 무효전력 변환방식, ㉛ 유효전력 변동방식, ㉜ 부하 변동방식 등이 있으며, 수동적 방식으로는 ㉝ 전압위상 도약검출 방식, ㉞ 3차 고조파 전압왜율 급증 검출방식, ㉟ 주파수변화를 검출방식 등이 있다.

⑩ DSP를 사용한 디지털 제어

근간에 DSP(Digital Signal Processor)의 빠른 계산력을 이용한 전력전자 제품이 많이 연구개발되어 DSP의 가격이 Counter Part인 Analog Controller에 비하여 가격경쟁을 갖춤으로서 용도에 맞는 DSP의 채택시에는 A/D Converter(ADC), D/A Converter (DAC), 고속 RAM 등 고가의 주변 회로가 내장되어 있으므로 중소요량급의 태양광발전 시스템의 인버터에 사용시에도 소형화 및 가격 경쟁력을 지닐 수 있게 되었다. 그러므로 제어 알고리즘을 적용할 수 있고, ADC 및 PWM(Pulse Width Modulator)을 내장하고 있는 DSP를 인버터의 주 제어기로 사용함에 따라 중성점 전류제어 등의 복잡한 스위칭 모드를 수행하는 디지털 제어기를 접목시

켜 노이즈 문제의 향상뿐만 아니라 아날로그 제어기의 제작 및 조정시험에 소요되는 시간 및 인적비용을 절약할 수 있다. 그 결과 인버터 제품을 소형화하고 가격을 낮게 유지하면서 사용자에게 높은 성능을 제공할 수 있다.

⑩ Web 기반 모니터링 및 제어 시스템

최근 여러 가지 제어대상 기기들은 부분적으로 장 거리에 걸쳐 떨어져 있는 경우가 많다. 분산전원용 태양광발전시스템의 경우 장거리에 걸쳐 여러 대의 계통연계 인버터가 독립적으로 모니터링 및 제어되고 있는 초기단계에 지나지 않는다. 기존의 통신방식으로는 전화나 모뎀을 통하여 접속하여 제어신호를 보내는 방식과 직렬통신을 이용하여 서로 데이터를 주고받는 방식이 있다. 그러나 기존의 방식은 직렬통신(RS-485, 422, 232)을 이용한 양방향 제어방식의 경우 거리상의 제한이 있고, 전화를 이용한 단방향 제어방식은 제어대상이 정확하게 제어되었는지에 대한 확인이 불가능하다는 문제점을 지니고 있다. 또한 이러한 방식을 이용하면 하나의 모니터링 시스템이 여러 장소의 인버터를 제어할 수 없으며, 마찬가지로 여러 모니터링 시스템이 하나 인버터를 제어할 수 없게 된다. 위와 같은 문제점을 극복하기 위해서는 전 세계적으로 사용되고 있는 인터넷이나 정보통신망을 이용하여 간단히 해결할 수 있다. 인터넷이나 정보통신망을 이용하게 되면, 인버터관리자 혹은 시스템 관리자는 인터넷을 통하여 지역적으로 멀리 떨어져 있는 경우에도 인버터를 쉽게 관리할 수 있게 된다.

이러한 사항들은 수동부하의 종래의 가전제품에는 없는 기능이고, 이 같은 기능을 갖는 인버터를 외국에서는 PC(Power Conditioner) 또는 PCS(Power Conditioning System)이라 부른다.

특히, 역조류 운전을 행하는 태양광발전시스템은 하나의 발전소로 간주되고, 상기 ⑤, ⑥은 계통으로

의 영향, 보안에 관한 특성으로 신뢰성, 안전성의 면에서 충분한 배려가 필요하다. 예를 들어, 배전선 측이 정전한 경우 가끔 태양광발전 시스템의 반전 출력과 부하가 균형을 이루어도, 정전을 감지하여, 태양광 인버터의 운전을 정지하여 배전선이 활선 상태가 되는 것을 방지하는 기능을 추가하여야 한다.^{1), 2)}

2.4. 인버터의 관련 규격

태양광 발전용 계통연계형 인버터의 제작 및 설치에 관한 국내의 규격은 따로 정한 것은 없으며, 현재 기존의 UPS 혹은 전원장치의 규격을 보완하여 적용

> 표 3. 태양광 발전 계통연계형 인버터 관련 규격

① ANS/NEMA PE1 : UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM(1983).
② IEEE 519 : GUIDE FOR HARMONIC CONTROL AND REACTIVE COMPENSATION OF STATIC POWER CONVERTER. IEEE 944 : RECOMMENDED PRACTICE FOR THE APPLICATION AND TESTING OF UPS FOR POWER GENERATING SYSTEM.
③ UL 1012 : POWER SUPPLIES.
④ IEC 146-4 : METHODE OF SPECIFYING THE PERFORMANCE AND TEST REQUIREMENTS OF UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM(1986). IEC 146-5 : SWITCHES FOR UNINTERRUPTIBLE POWER SYSTEM(1988). IEC 146-1 : GENERAL REQUIREMENTS AND LINE COMMUTATED CONVERTERS(1991).
⑤ JEC 2431 : 반도체 무정전 전원 시스템(1985). JEC 5919 : 전력 통신용 전원 장치 정지형 교류 무정전 전원 시스템(1991). JEC 2432 : 반도체 교류 무정전 전원 시스템용 스위치(1991). JEC 202 : 자력식 반도체 전력 변환장치(1978). JEC 2410 : 반도체 변환 장치(1989). JEC 188 : 싸이스터 변환장치
⑥ KSA 0701 : 소음 측정 방법
⑦ KEMC 1114 : 교류 무정전 전원 시스템 (전기공업 협동조합 규격)
⑧ 전 05 : 전기용품 기술기준 - 무정전 전원장치 (한국전기용품안전관리협회)

> 표 4 국내외 계통연계 인버터의 사양실증연구

구 분		국내 A사	국내 B사	국외 C사
회로 방식	PCS 방식	전압현 전류제어	전압형 전류제어	전압형 전류제어
	스위칭 방식	정현파 PWM	정현파 PWM	정현파 PWM
	절연방식	고주파절연변압기	저주파절연변압기	무변압기
제어 방식 정격	전력제어	MPPT	MPPT	MPPT
	운전제어	PV 출력감시, 자동기동/정지	PV 출력감시, 자동기동/정지	PV 출력감시, 자동기동/정지
	정격입력전압	244[Vdc]	340[Vdc]	200[Vdc]
	운전가능 전압범위	200~300[Vdc]	280~430[Vdc]	145~350[Vdc]
	최적동작 전압범위	210~280[Vdc]	280~340[Vdc]	-
	정격출력 용량	3[kW]	3[kW]	4[kW]
	정격출력 전압	220[Vac]	220[Vac]	220[Vac]
	정격출력 주파수	60[Hz]	60[Hz]	60[Hz]
성능	변환효율	90%이상	91%이상	93.5%이상
	출력역률	95%이상	98%이상	95%이상
	총합전류 왜율	5%이하	5%이하	5%이하
	각차전류 왜율	3%이하	3%이하	3%이하
보호 기능	개통보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 정전 및 단락보호	OV, UV, OF, UF 직류분검출 정전, 단락보호
	단독운전방지	-	-	수동적, 능동적

되어 지고 있다. 표 3은 관련 규격 리스트이다.⁴⁾

3 ■ 인버터의 연구 개발 사례(실증연구)

최근 실증연구단지에 설치된 각 국내의 제조사별 주택용 태양광 발전용 계통연계 인버터에 대하여 단기간의 성능시험 및 평가를 통해 인버터의 성능을 비교 분석한 결과를 다음의 표 4와 그림 6부터 그림 8에 나타내었다.

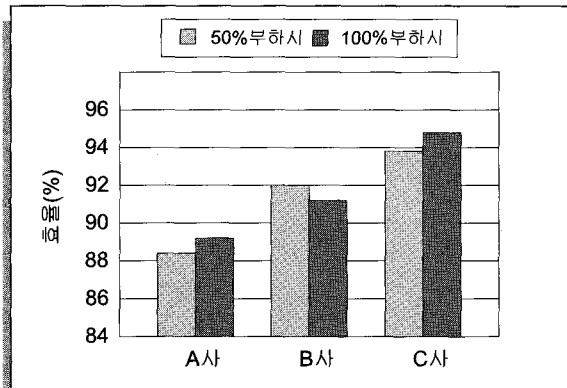
국내 A사의 인버터는 고주파 변압기 절연방식으로 고주파 변압기를 사용함으로써 소형경량화 한 것이 특징이다. 성능평가의 결과에서 정격시 변환효율이 90%를 넘지 못하고 있는 것이 문제점으로 원인은

필터 리액터가 최적화되지 않은 것으로 사료된다.

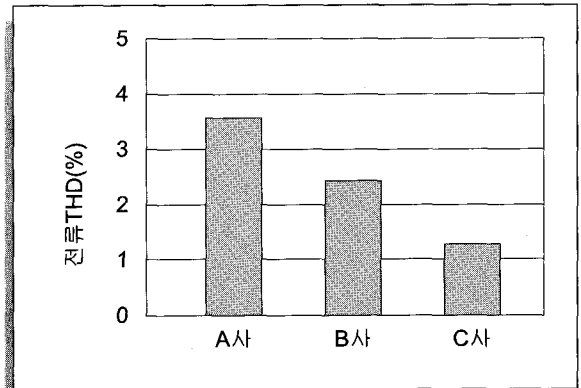
반면 국내 B사의 인버터는 저주파 변압기 절연방식으로 입력단의 승압용 컨버터를 채용하지 않고 소형화 및 고효율화 한 것이 특징이다. 승압용 컨버터가 없으므로 입력단 태양전지 전압이 일반적으로 사용되는 전압범위보다 높아야 한다는 제한을 가지고 있다. 그리하여 다양한 형태의 태양전지 어레이 배열에 대응하지 못한다는 단점을 가지고 있다.

한편, 외국 C사의 인버터는 전형적인 무변압기 방식으로 승압용 컨버터와 PWM 인버터로만 구성되어 있다. 소형, 경량화를 구현하였으며 높은 성능을 가지고 있다. 특히, 자립운전 기능을 내장하고 있어 비상전원으로 사용할 수 있는 것이 특징이다. 그 외에 무효전력제어를 통하여 전압상승을 억제기능 등 국

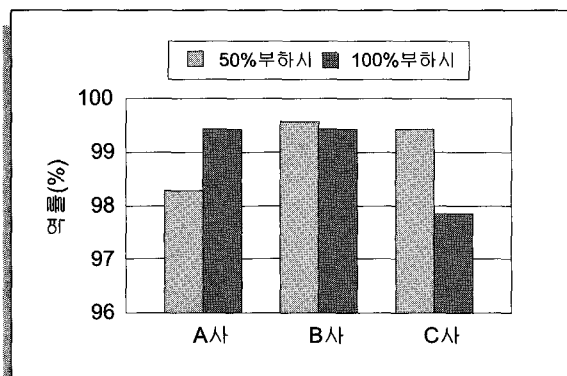
> 그림 7 인버터별 변환효율 특성



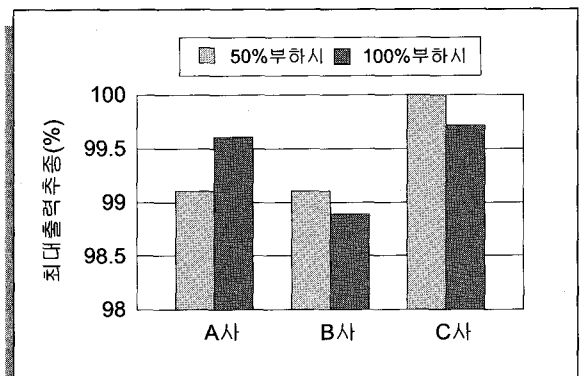
> 그림 8 인버터별 출력전류왜율 특성



> 그림 9 인버터별 역률 특성



> 그림 9 인버터별 MPPT 특성



내에서 보유하지 못한 고급기능을 내장하고 있다.⁵⁾

표 5는 2004년도 대체에너지 기술개발 및 실용화 평가사업 중 프로젝트형 기술개발사업의 주택용 태양광 발전용 인버터의 공모과제 세부내용이다. 내용은 국외의 가장 최근 출시된 주택용 태양광 발전 계통연계형 인버터의 규격을 따르고 있으며 향후의 주택용 태양광 발전용 계통연계형 인버터의 표준화 된 모델이 될 것으로 사려된다.⁶⁾

4 ■ 국내외 관련기술 동향

4.1 국내의 기술동향

국내 태양광 발전기술은 1970년대 초부터 대학과

연구소를 중심으로 연구되어 왔으나 두 차례의 석유 파동을 거치면서 신·재생에너지에 대한 인식이 고조됨에 따라서 정부차원의 기술개발 계획이 가시화되기 시작하였다. 1987년 12월 대체에너지개발 촉진법이 제정되고 이에 따라 1988년 6월 동력자원부(현 산업자원부) 주관하에 대체에너지 기술개발 기본계획이 수립되었으며, 개발의 필요성과 중요성을 감안하여 1989년 7월 태양광발전 범국가적 연구사업 세부 추진계획과 장기 개발계획이 수립되었다. 또한 1993년부터 과학기술의 선진화를 위한 『G7 프로젝트』의 신 에너지 분야에 태양광 발전기술이 포함됨으로써 기술개발과 보급촉진을 보다 강화할 수 있는 기틀이 마련되었다.

그러나, 태양광 발전기술의 최종목표는 상용전원

> 표 5 최근 인버터 개발 공모과제 내용

기술명	주택용 무변압기형 PCS의 상용화 제품 개발
개발목표	- 정격용량 : 3~4kW - 입력동작범위 DC150~420V - 정격출력전압 : 단상 2선식 AC220±13V - 전력변환효율 : 90% 이상(정격 50%이상시) - THD : 각차수 3%, 총합 5% 이내 - 병렬운전제어기능 내장 - 단독운전 검출기능 내장(수동적, 능동적 방법 포함) - 부피 : 9리터/kW - 무게 : 5kg/kW
핵심 개발 내용	- 단독운전 검출기능 : 1초이내 - 판매가격 : 1,000천원/kW (조건: 연간 5천대 /2007년) - 절연방식 : Transformerless 방식 - 냉각방식 및 설치장소 : 자연식 및 벽걸이형(옥내) - 자립운전기능, 출력전압상승억제 기능 내장 - 출력제어방식 : 출력전류 제어 - 입력제어방식 : MPPT - 직류분 전류검출 : 정격출력전류의 1% 이내
개발기간	3년

과 경쟁이 가능한 발전단계 수준의 제품을 개발하고, 동시에 신뢰성이 높고 효율적인 이용기술을 개발하여 태양광 발전기술을 실용화하는 것으로, 기술수준과 예산 및 연구인력 등의 개발여건을 고려한 단계적 추진방법을 취하고 있다. 또한, 정부는 2002년 태양광 발전 보급·활성화 전략으로 "Solar Land 2010 Program"을 발표하였다.

1990년대 후반부터 계통연계형 인버터의 보급이 이루어지고 있으나, 개별 발주에 의한 주문 제작 형태로 생산이 되는 실정으로 규격화/표준화가 이루어지지 않아 사용자의 요구나 사용환경에 따라 다양한 형태로 제작되고 있다. 또한, 1990년대부터 현재까지 국산 기술로 제품을 개발하여 납품/운용중인 회사는 헥스파워시스템(주)이 유일하며, 국내 최대의 실

적을 가지고 있다. 헥스파워시스템(주)에서 제작, 납품 운용중인 계통연계형 인버터는 저주파 변압기형 인버터로 최대출력점 추종제어, 계통이상시 보호 기능 등 계통연계 인버터가 필요로 하는 기본적인 기능 기술이 적용되었으며 에너지기술연구원의 성능시험에서 요구되는 사항들을 모두 만족하는 시스템이다.

고주파스위칭형(무변압기형) 계통연계 인버터는 실험실 개발 단계에 머무르고 있는 실정이었으나, 최근 헥스파워시스템(주)에서 주택용 3kW급 무변압기형 계통연계 인버터를 개발에 성공하였으며 상품화를 위한 최소화 단계에 있다.

단독운전 검출기법 연구는 약 5년 전부터 에너지기술연구원에서 연구되고 있으며, 현재 능동적 검출기법 중 일부를 실험실 레벨에서 구현한 정도에 머무르고 있다. 또한 국내 인버터 제품의 경우, 단독운전 검출기법 중 수동적 방법을 일부 채용하여 판매되고 있는 실정이다.

4.2. 외국의 기술동향

태양광발전 분야의 기술 선진국인 미국, 일본 및 유럽의 개발정책은, 2000년대 초까지 기존의 발전방식과 경쟁이 가능한 수준의 발전단가를 가격목표로 설정하고, 저가, 고효율의 태양전지 및 주변장치의 저가화 이용기술의 개발에 주력하고 있다. 특히, 태양광발전용 인버터는 3kW급 계통연계형 인버터의 개발이 완료되어 제품으로 시판되고 있으나 발전전력을 필요로 하는 부하용량과 태양전지어레이 설치공간의 확보 등의 제약조건으로 정격에서 운전되지 못하고 정격미만에서 운전되거나 용량을 애매하게 초과하는 경우 비효율적인 운전방식 등이 확대보급의 장애요인으로 작용하고 있다고 인식하고 있다. 또한 기존의 3kW급 용량에 1kW급의 String 인버터와 중용량의 시스템으로서 10kW급의 Unit형 인버터에 대하여 기술적인 검토를 통하여 제품개발에 주

력하고 있다. 그리고 국가의 보급 지원 정책으로 이미 1990년대 초부터 저주파 변압기형 계통연계 인버터를 양산하고 있으며, 1990년대 말에는 일본을 중심으로 일반적으로 보급되는 5kW 미만의 시스템에는 무변압기형 인버터시스템의 상용제품 출시되고 있다.

태양광발전시스템의 확대보급을 위해서는 시스템의 가격을 낮추는 것이 중요하며, 시스템의 저가화를 위해서는 태양전지의 고효율화에 의한 저가화 제조 기술과 인버터의 저가화 기술개발이 병행되어야 하나, 태양전지의 저가화는 상당기간 어려울 것으로 예상하고 있어 인버터의 저가화에 의한 전체 시스템의 저가화에 주력하고 있다. 그래서 인버터의 절연방식 중 상용주파수 절연변압기 사용방식은 인버터의 가격 중에서 절연변압기가 커다란 위치를 차지하고 있으며, 절연변압기에 의한 인버터 전체의 크기, 전력 손실의 저감에 한계가 있기 때문에 고주파 절연방식의 인버터 외국에서는 개발되고 있다. 또한 최근에는 절연변압기를 생략하고도 충분히 직류유출을 방지할 수 있는 기술을 연구·개발하여 시스템 저가화에 기여하고 있다.⁷⁾

5 ■ 결 언

현재까지의 주택용 태양광 발전용 계통연계형 인버터의 국내기술 현황은 기본기술은 확립되어 있으나 신뢰성, 효율, 저가화, 등은 외국과 많은 격차가 존재하며, 전력계통보호 및 전력품질개선에 대한 기능은 전혀 고려되지 못하고 있다. 따라서 태양광발전 기술의 활성화를 위해서는 지금까지의 개발성과를 정밀분석하고 기술내용에 따라 기초 연구개발, 실용화의 단계별로 구분하여 상용화가 가능한 과제를 중점지원해야 하며, 제품의 성능향상과 시스템의 신뢰도 확립을 위한 실증시험 및 시장개척을 위한 이용기술 연구를 수행하여 보급촉진과 연계되어야 한다. 태양광 발전용 인버터는 태양광발전 시스템의 이용기술 개발의 일부분으로 소홀하게 취급되어 정부지원이나 연구개발의 추진이 지연되어 왔다. 하지만, 태양광발전시스템용 인버터는 그 구성요소 중에서 가장 핵심부분으로 심층적인 연구개발이 지속적으로 추진되어야 한다고 사료된다.

참고문헌

- 1) 유권중, 최주엽, "태양광발전 시스템에서의 전력전자기술", 전력전자학회지 Vol.8, No.4, 2003. 8.
- 2) 최주엽, 유권중, "태양광발전용 PCS 기술개발 동향", 2001년 태양광발전기술세미나, 산업자원부 에너지관리공단, 태양광발전기술연구회, pp.121 ~ 138, 2001.
- 3) "주택용 태양광 발전 시스템의 운전평가 및 실용보급 방안 연구", 전력산업연구개발사업 최종보고서, 산업자원부, 2003.
- 4) "주택용 3kW급 계통연계형 PCS 설계 시방서", 헥스파워시스템(주), 2004
- 5) "주택용 3kW급 PV시스템 및 가정용 태양열온수기 실증연구", 에너지?자원기술 개발사업 최종보고서, 산업자원부, 2002.
- 6) "2004년도 대체에너지 기술개발 및 실용화평가 사업 안내", 산업자원부 에너지관리공단, 2004.5
- 7) 임희천, 안교상, "태양광발전 기술동향", 전력전자학회지 Vol.8, No.3, 2003. 6.