

전력용 태양광발전시스템 이용기술



1. 서 론

현재 전세계적으로 에너지 공급은 대부분 석유, 석탄, 천연가스 등 화석연료와 원자력에 의해 이루어지고 있다. 화석연료는 고갈될 우려가 있을 뿐 아니라, 연소시 CO_2 , NO_x , SO_x 발생되는 등을 비롯한 공해물질의 배출로 인하여 지구환경 보호 측면에서 사용에 대한 환경 규제가 점점 강화되는 추세에 있고, 오일 쇼크와 같은 국제정세에 따라 에너지의 안정적인 확보에 위협을 받고 있다. 한편 부존자원이 거의 없는 국내 실정에서는 에너지의 자급 노력의 일환으로 원자력 발전의 필요성을 강조하고 있으나 이 또한 대안 없는 반대에 직면하고 있는 실정이다.

이러한 지구환경문제와 에너지 자원의 고갈이라는 두가지 이유로부터 기존 화석연료를 대체할 수 있는 풍부하고 안전한 새로운 에너지원을 개발할 필요가 있다. 이런 의미에서 태양에너지는 깨끗하고 무한한 세계 어느 곳에서도 이용할 수 있다는 특징을 갖는 가장 이상적인 에너지원이다. 지구에 도달하는 태양에너지는 170조 kW에 달하여 약 1시간에 전세계 1년반의 에너지에 해당할 정도로 크고, 또 태양의 수명도 인류의 역사에 비할 수 없을 정도로 길어 반영구적인 에너지원이라 할 수 있다. 따라서 태양에너지는 지구상에 무한히 존재하는 무공해의

에너지원으로서, 부존자원이 거의 없는 우리나라의 실정을 고려할 때 기술개발 및 실용화의 필요성은 어느 국가보다 더욱 절실하다. 이러한 상황에서 태양광 발전을 비롯한 신에너지 개발은 깨끗하고 무한한 대체에너지원 개발이라는 목적에 부합된다. 특히 태양광발전기술은 무한한 태양에너지를 반도체 소자인 태양전지를 이용하여 직접 전기로 변환하는 발전방식으로 화석연료를 필요로 하지 않기 때문에 환경문제에 적극적으로 대처할 수 있는 깨끗한 발전방식으로 주목받고 있다. 그러나 현실점에서 대부분의 신에너지 기술이 해결해야 할 가장 근본적인 문제는 기존 에너지원에 비해 상대적으로 뒤떨어져 있는 경제성을 극복할 수 있는 실용화 기술개발을 들 수 있다.

신에너지 분야 중에서도 가장 가까운 시일내에 실용화 될 것으로 예상되는 태양광 발전의 경우에도 통신, 인공위성, 무인 계측 등 특수한 용도를 제외하고는 태양전지 모듈을 비롯한 시스템의 높은 가격 때문에 실용화 보급에 제한을 받고 있는 실정이다[1~3]. 따라서 미국, 일본 등 선진국을 비롯한 각국에서는 태양전지 모듈의 가격저감을 위한 저가 제조기법 및 효율개선 연구를 통하여 실용화 시기를 앞당기기 위한 노력을 기울이고 있고, 이와 병행하여 인버터 등 주변장치의 효율개선 및 신뢰성 확보를 위한 연구를 수



황인호
옥천전문대 전기과 교수



김종도
한전 기술기획처 부장



임희천
한전 전력연구원 책임연구원

행하고 있다[4~6].

본격적인 전력공급을 위한 수 kW이상의 용량을 갖는 전력용 태양광 발전시스템은 전력계통과의 연계 유무에 따라 고립되어 있는 산간벽지 및 도서지역을 위한 독립형 시스템과 계통에 연결되는 주택용, 빌딩용 및 MW 규모의 계통연계형 시스템으로 분류할 수 있다[2,7]. 본 논문에서는 전력용 태양광발전시스템의 기술개요, 실용화 응용기술 및 보급전망에 대하여 기술하고자 한다.

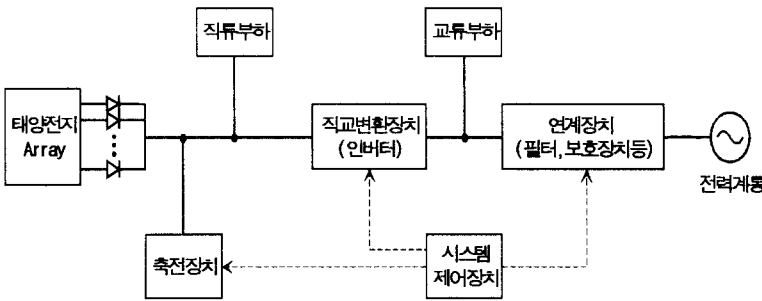


그림 1. 태양광발전시스템의 구성

2. 태양광발전기술의 개요

2.1 태양광발전시스템의 특징

태양광 발전은 태양전지라는 반도체를 사용하여 태양의 빛에너지를 직접 전기에너지로 변환하는 발전 방식이다. 그러나 태양에너지는 타 에너지원에 비하여 단위면적당 에너지 밀도가 낮고 (1 kW/m²정도) 계절·시간·지역별로 이용가능 에너지의 변화가 크기 때문에 이용범위 때문에 이용범위 확대를 위한 기술개발이 필요하다. 발전 출력은 직류 출력이므로 보통 인버터라고 부르는 직·교류 전력변환시스템을 사용하여 교류전력으로 변환한다. 즉, 태양광 발전은 그 발전의 기본 단위인 태양전지 이외에 직류를 교

류로 변환하여 독립운전 또는 계통연계 운전을 위한 직·교류 전력변환시스템을 필요로 하는 발전 기술이다.

태양광 발전의 특징으로서는, ① 태양 에너지의 밀도가 작기 때문에 대전력을 얻기 위해서는 큰 면적이 필요하다는 것 ② 태양전지로부터의 출력이 직류이므로, 교류 이용을 위해서는 별도의 전력변환시스템이 필요하다는 것 ③ 태양광을 에너지원으로 이용하는 것이므로 자연 조건에 따른 출력변동이 발생한다는 것 등의 제약

이 있는 반면에, ① 연료가 필요 없어 연료의 연소에 따른 환경 오염의 염려가 없다는 것 ② 가동부분이 없기 때문에 소음의 발생이 없고 유지보수가 용이하다는 것 ③ 태양전지는 모듈(Module)화가 가능하기 때문에 대량생산에 적합하고, 규모의 확장성(Flexibility)이 크다는 것 등의 장점을 갖고 있다.

2.2 태양광발전시스템의 구성

초기에 원격지의 통신용, 계측용 전원으로 실용화되어 널리 사용되었던 태양광 발전시스템은 대부분이 직류부하를 대상으로한 소규모 용량의 것으로 시스템 구성은 태양전지와 축전지가 결합되어 있는 간단한 형태였다. 그러나 본

격적인 전력공급시스템으로서 일반 수용가에서 가전기기를 그대로 사용할 수 있고 더 나아가 전력계통과의 연계가 고려되면서부터 상용전력과 같은 교류출력을 공급할 수 있도록 인버터 등이 부가된 시스템 구성이 일반적이다[7].

태양광 발전시스템의 구성은 그 이용 형태에 따라 다를 수 있지만, 모든 이용 가능성을 고려한 기본구성은 그림 1과 같다. 태양전지는 가벼워서 어디에도 설치가 가능하고 일사량은 거의 지역차가 없기 때문에 규모의 크기 및 설치장소의 상이함에 따라 발전 특성이 기본적으로 크게 변하지 않는 특성을 갖고 있다. 축전지와 전력변환기 등 주변기기(BOS, Ballance of system)의 조합에 따라 여러가지 형태의 이용 시스템이 있을 수 있다.

태양빛으로부터 전기를 발생하는 태양전지 어레이(Array)는 원하는 전압, 전류 및 용량을 얻기 위하여 그에 맞도록 여러개의 태양전지를 직·병렬로 접속한다. 직류부하만 있을 경우에는 이것에 축전장치(일반적으로 연축전지 사용)가 접속될 뿐이지만 교류부하를 대상으로 한 경우는 반드시 직·교류 전력변환시스템(DC/AC power conversion system)이 필요하다.

직·교류 전력변환시스템은 기본원리는 기존 인버터와 비슷하지만 태양광 발전에 적합한 구조 및 기능을 갖도록 한 것으로 태양전지에서 발생하는 직류 전력을 상용 60 [Hz]의 일정 교류전력으로 변환하는 장치이고, 전체 태양광 발전시스템(Photovoltaic Power Generation System or PV System)의 운전특성을 결정하는 주요설비로서 단순히 태양전지로부터 출력되는 직류를 상용전원인 교류로 변환하는 기능외에 태양광 발전

시스템의 용도에 부합되는 제어 성능을 필요로 한다. 기타 축전지, 전력조정기(DC/DC 컨버터), 연계장치 등은 계통연계 유무에 따라 시스템에 가감된다.

3. 전력용 태양광발전시스템의 실용화기술 현황

3.1 독립형 태양광발전기술

독립형 시스템은 전력계통과 분리된 고립지역, 즉 산간벽지나 도서지역의 통신, 무인 측정계측기, 유·무인 등대 또는 농어촌 전화(Electrification)사업용 전원시스템으로 이용되는 형태이다. 그림 2.

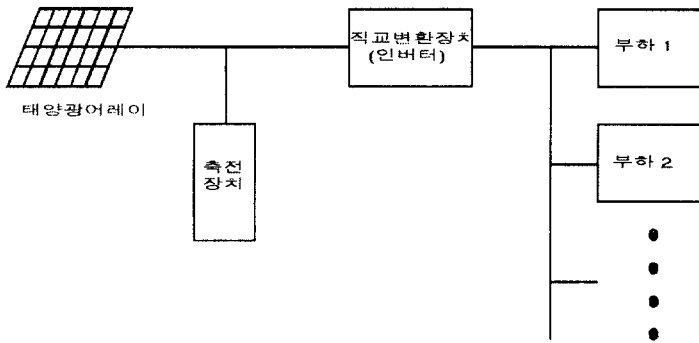


그림 2. 독립형 태양광발전시스템의 구성 블록도.

는 전형적인 독립형 태양광 발전 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 것처럼 독립형 태양광 발전시스템은 불특정 다수의 부하와 연결되어 있어 무엇보다도 독립된 소규모 계통의 주전원 시스템으로서 정현파 출력특성과 높은 운전신뢰성이 요구되고 있다.

기존의 UPS 시스템과 비슷한 구조를 갖는 독립형 태양광 발전 시스템은 직류전원인 태양전지 어레이, 축전지, DC/AC 전력변환부(인버터), LC필터 등으로 구성되어 있다[8~10].

기존 전력계통과 분리된 도서지

역과 산간벽지에 이용되는 독립형 태양광 발전용 직·교류 전력변환 시스템의 경우 독립된 교류전원 시스템으로서 안정된 상용 60 [Hz]의 전력을 공급할 수 있도록 양호한 정현파 출력 전압 및 부하 외란에 강인한 특성 등을 갖는 것이 중요하다. 일반적으로 시스템 출력의 왜율(THD, Total Harmonic Distortion)을 최소화 하기 위한 인버터 제어기법은 Stepped-wave harmonic neutralization 기법과 Programmed-PWM 기법이 사용되어 왔다[11]. 이 두가지 방법 모두 인버터 출력에 있어서 기본파 크기를 제어하고 저차 고조파를

로 스위칭 할 수 있는 전력용 트랜지스터 및 IGBT를 사용한 고속 인버터 스위칭과 비선형 피드백 PWM 제어기법을 사용한다.

이들 기법들은 히스테리시스 제어 형태를 사용하는데, 출력전압이 정현파 기준치와 비교되어진 전압오차신호는 히스테리시스 제어기를 통과한 후 인버터의 스위칭 형태를 결정한다. 비선형 피드백의 사용은 시스템을 부하 외란(disturbance)과 비선형 부하에 대해 강인하고 덜 민감하게 만드는 역할을 하므로 소규모 독립계통에서 부하의 빈번한 ON, OFF에 의해 시스템이 불안정에 대응할 수 있다.

3.2 계통연계 태양광발전기술

태양광발전시스템의 응용분야중 향후 가장 큰 실용화 보급 잠재력을 갖고 있는 분야는 본장에서 취급할 예정인 계통연계형 시스템이다. 앞서서도 언급하였듯이 계통연계형시스템은 주택용, 빌딩용 또는 기타 계통과 연계되어 있는 분산형 전원 형태의 시스템으로 수 kW에서 수 MW 용량의 시스템 구성이 가능하다. 상용 전력계통에 연계되기 때문에 계통연계형 태양광발전시스템은 화석연료의 대체 및 환경문제 해결이라는 태양광발전의 보급효과 뿐 아니라, 기존 계통의 피크전력을 감소시키는 효

재거할 수 있는 메커니즘을 제공한다. 그러나 최근에는 수백 암페어를 수 kHz 이상에서 효과적으

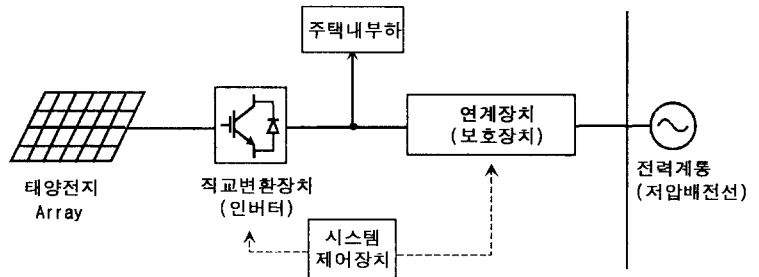


그림 3. 계통연계형 태양광 발전시스템의 구성 블록도.

과도 기대할 수 있다.

계통연계형 시스템 구성은 독립형보다는 비교적 간단한 형태로 그림 3에 보이는 것처럼 태양전지 어레이, 직·교류 전력변환시스템(인버터) 및 연계장치로 이루어진다. 특히 중요한 구성요소인 태양전지를 전원으로 하는 계통연계형 직·교류 전력변환시스템은 상용 전력계통과 병렬 접속하기 때문에 배전선의 상태 변화에 대한 추정성이 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 하며 그 외에도 일반적으로 다음과 같은 기능을 갖도록 요구되고 있다. ① 태양전지 출력전압 변동에도 안정된 전압, 주파수의 출력을 유지해야 한다. ② 계통의 전력 품질을 고려하여 출력의 고조파 함유량이 작아야 한다. ③ 역율 1의 무효전력의 제어가 가능해야 한다. ④ 직·교류전력변환효율이 높아야 한다. ⑤ 태양전지 어레이로부터 최대출력제어가 가능해야 한다. ⑥ 계통과의 병렬 운전이 가능해야 한다.

위에서 제시한 요구조건에서 알 수 있듯이 계통연계형 시스템도 낮은 왜율, 높은 효율을 필요로 하는 점에서 독립형과 마찬가지로, 기본적으로 상용 전력계통과 연계되기 때문에 계통과 병렬운전될 수 있는 기능 이외에 기존 전력계통의 전력품질 및 안정성을 저해하지 않는 특성을 갖추어야 하기 때문에 유효·무효전력을 제어하여 전력계통을 안정화, 효율화하기 위해서는 능동필터(Active filter)의 특성도 필요로 한다. 또한 최대출력 제어를 행하는 점에서는 전력조절기의 특성을 동시에 요구함을 알 수 있다[12~14].

또한 태양광 발전시스템은 설명한 바와 같이 전력계통과의 연계 유무에 따라 독립형 시스템과 계통연계시스템으로 분류되므로 전력계통과 연계할 경우에는 별도의 연계장치가 추가로 필요하게 된다. 연계장치는 태양광 발전시스템 또는 전력계통의 이상시에, 쌍방을 신속히 분리하는 보호 제어 장치가 주가 되지만, 고조파 억제 필터 및 전력계통으로부터의 침입 서지의 방지회로 그리고 전력 조류의 방향에 따라 별도로 계량할 수 있는 전력량계 등도 필요하다. 시스템 제어장치는 전체적으로 이상적인 운전이 가능하도록 각 시스템 구성기기를 감시하고 제어는 것으로 규모에 따라 생략되어 직·교류 전력변환시스템의 제어 회로에 포함되기도 한다.

3.3 시스템 설치현황

태양광발전은 발전소자인 태양전지 제조기술과, 인버터, 축전지 등을 비롯한 주변장치(시스템) 제작 기술로 나누어지며 대부분 범국가적인 프로젝트에 의해 기술개발이 이루어지고 있다. 현재 가격이 5,000원/Wp 수준으로 초기 설비 투자비의 대부분을 차지하고 있는 태양전지의 제조기술은 단결정, 다결정 및 비정질등의 실리콘(Si)계 태양전지와, II-IV족(CdTe, CIS 등), III-V족(GaAs, InP 등)의 화합물 반도체 태양전지로 대별되며 상용화를 위한 목표로 정하고 있는 1~2 \$/Wp의 실현을 위해 태양전지의 박막화 및 초고 효율화를 위한 연구가 진행되고 있다. '96년 전세계 태양전지의 종류별 생산량은 결정질 실리콘 71.4 MWp(81%), 비정질 실리콘 11.7 MWp(13%), 기타 5.5 MWp(6%)로 태양전지 총 생산량은 88.6 MWp에 달한다.

전세계적으로 태양광발전시스템

의 설치상황을 살펴보면 표 1에 보인 것처럼 1994년말 기준으로 총 151 MW에 이르고 있으며 미국, 일본, 유럽이 대부분을 차지한다.

표 1. 전세계 태양광발전 실적.

국가명	발전 용량	대상 기간
미국	56 MW	82~94
일본	20 MW	81~93
독일	22 MW	81~94
이태리	15 MW	81~94
스위스	8 MW	81~94
스페인	8 MW	81~94
프랑스	6 MW	81~94
네델란드	2 MW	81~94
오스트리아	1 MW	81~94
기타	13 MW	81~94
합계	151 MW	

미국은 에너지성(DOE)을 중심으로 태양전지의 제조 및 Cost Down을 위한 PVMAT (Photovoltaic Manufacturing Technology), 상업화에 필요한 실증시험 및 가격절감을 위한 시스템기술 개발을 목적으로 하는 PVUSA (Photovoltaic Utility Scale Application), 2000년까지 1,000 MW의 시스템을 설치 보급하기 위한 'SOLAR 2000 Project', 태양광발전을 건물에 적용하기 위한 PV BONUS Project 등 강력한 도입시책을 추진하고 있다. 이에 비하여 일본은 1974년 국가주도의 태양광발전기술 개발을 위하여 Sunshine Project를 수립하고 대체에너지 개발촉진법령을 제정 본격적인 기술개발을 추진하여 결정질 및 비정질실리콘 태양전지분야의 기술수준을 크게 향상시켰고 1993년 새로 기획된 New Sunshine 계획을 통하여 2000년 400 MW, 2010

년 4600 MW의 태양광 발전설비의 도입계획을 설정하고 있다. 한편 유럽은 지금까지 적극적으로 도입이 진행되어 왔지만 1995년에 대규모 도입 프로젝트가 일단락되어 시장이 위축되었으나 EU와 유럽 태양에너지공업회는 2010년까지 총 390만 kW의 도입계획을 책정하여 도입추진을 도모하고 있다.

국내 태양광발전기술은 1970년대 초부터 대학과 연구소를 중심으로 기초연구가 진행되었고 두 차례의 석유파동 이후 대체에너지에 관한 인식이 고조됨에 따라 정부출연연구소를 중심으로 개발 및 응용연구가 시작되었고 육지의 한전 전력계통과 연계하여 이용할 수 있는 계통연계형 태양광발전시스템에 대한 연구는 한전을 비롯한 LG산전, 삼성전자 등 산업체를 중심으로 1995년부터 본격적으로 착수하였다.

국내의 태양광발전 이용분야는 원격지 소규모전원, 서어비스용,

표 2. 연도별 태양광 보급실적.

년도	태양광 (kW)
1989	599
1990	171
1991	478
1992	225
1993	160
1994	50
1995	92
1996	388
1997	410
계	2,573

낙도통신용 시스템의 경우에는 이미 경제성을 확보한 단계로서

본격적인 보급단계에 있으며, 특히 항로 표시등, 무인등대, 도로 지시등, 고속도로 비상등, 무인 유량측정기, 유·무인 중계소, 도서 지역 통신용 등 여러 가지 다양한 응용분야에 이용되고 있으며 연도별 태양광 보급실적은 표 2와 같다.

표 3. 국내 도서전원용 태양광발전설비 현황.

시스템명	용량 (kW)	설치년도
하 화 도	60	1988. 4.
마 라 도	30	1991.12.
호 도	90	1993. 1.
와 도	30	1996.12

특히 이 중에서 대규모 전력공급을 위한 발전용 시스템으로의 보급현황을 살펴보면 도서용 전원으로는 현재 원격지 유인등대에 디젤발전기를 대신하여 태양광발전시스템을 6~8 kWp급 규모로 20여곳에 설치를 완료하였으며, 아울러 도서 전화사업 및 실증연구를 목적으로 하화도(60 kWp), 마라도(30 kWp), 호도(90 kWp)에 태양광발전소가 설치되었고 경남 와도 시스템(30 kWp)이 시범사업으로 건설되어 운영중에 있다. 현황을 표 3에 요약하였다. 특히 도서 전화사업의 경우 국가 농어촌전화사업과 연계되어 50호 미만 유인도서 100여개를 대상으로 태양광발전용 중심으로 한 디젤, 풍력 등 복합 발전시스템이 건설될 것으로 예상하고 있다.

한편 계통연계형의 경우에는 향후 보급 잠재력은 가장 크지만, 관련 법규의 미비 및 기존 전력원과의 경제성에서 아직 뒤떨어지기 때문에 실용화의 예가 많지 않다. 표 4에 국내의 설치상황을 요약하

표 4. 국내 계통연계형 태양광발전설비 현황.

시스템명	용량 (kW)	설치년도
삼성건설	100	1996. 7.
전력연구원	3	1997. 1.
전력연구원	10	1997.12.
창원시청	30	1997.12.
KAIST	40	1998년예정
풀무농고	10	1998년예정 1
전기연구소	9	998년예정

였다. 그러나 전반적으로 신발전 분야에 대한 인식이 새로워짐에 따라서 여름철 Peak시간대의 전력공급을 위한 주택용 또는 빌딩용 등의 분산형 전원 형태의 계통연계 시스템에 관한 기술연구가 활발히 진행되고 있으며, 아울러 정부의 태양광 보급 활성화를 위한 대체에너지 시범사업 및 지역에너지사업 등에 힘입어 중·소규모의 계통연계형 시스템의 설치가 확대되는 추세에 있다.

4. 결 론

전술한 바와 같이 태양광발전은 최근 대두되고 있는 환경문제와 자원고갈에 대처할 수 있는 가장 가치적인 대체에너지원이라 할 수 있다. 이러한 상황을 인식하여 전세계적으로 대부분의 국가에서는 태양광발전의 실용화를 위한 연구개발 및 보급사업을 추진하고 있다. 국내에서는 지난 10여년간의 지속적인 범국가적 사업추진과 산학연 관련기관의 각고의 노력으로 일부 태양전지 및 주변장치의 국산화를 달성하는 성과를 이룬 것으로 평가되고 있다.

현재 국내 태양광 설치 용량은 총 2.6 MWp 정도로서 도서용 전원으로는 원격지 유인등대와 놓여진 도서전원시스템 개발을 목적으로 디젤발전을 대신하여 다수 설치되어 운전중에 있고 정부의 농어촌전력화사업과 연계되어 50호 미만 유인도서 100여개를 대상으로 태양광발전을 중심으로 한 디젤, 풍력 등 복합 발전시스템의 도입 검토가 필요할 것으로 예상된다.

계통연계형의 경우는 보급의 가장 큰 장애요소인 경제성 분석이 기존전원과의 단순한 발전단가 비교가 아니라 크린에너지로서 환경보전, 지방 또는 옥상 등의 유휴공간 활용, 계통연계시 부하 평준화 효과, 배전선 보완효과 등 다각적인 측면을 적극적으로 고려해야 할 것이다.

이처럼 태양광발전시스템의 보급을 가속화하기 위해서는 시스템의 저가, 고효율 및 신뢰성 향상과 병행하여 계통연계 기술요건 보완, 관련 전기사업법의 일부개정 등 법적인 환경정비와, 보급촉진을 유도하기 위한 지원제도 수립에 각계의 노력이 수반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] France Lasnier and Tony Gan Ang, *Photovoltaic Engineering Handbook*. Adam Hilger, 1990.
- [2] 한전기술연구원, "태양광발전 이용기술 연구" 최종보고서, KRC-85G-J05, 1988.
- [3] 한전기술연구원, "태양광 발전 시스템의 최적화와 경제적 보급방법에 관한 연구" 최종보고서, KRC-90G-T09, 1991.
- [4] Electric Power Research Institute, *AP-3351 : Photovoltaic Power Systems Research Evaluation : A Report of the EPRI Ad Hoc Photovoltaic Advisory committee*, prepared by Strategies Unlimited, EPRI, Palo Alto, CA, 1983.
- [5] U.S. Department of Energy, *National Photovoltaic Program : Five Year Research Plan, 1987-1991*, U.S. DOE, Washington DC, 1987.
- [6] 通商産業省 エネルギー廳, "新資源エネルギー便覽", 通商産業調査會出版部, 1995.
- [7] Matthew Burrech, *Photovoltaic Energy Systems*. McGraw-Hill Book Company, 1993.
- [8] 황인호, 성세진, "독립형 태양광발전 시스템의 설계 및 운전특성 분석" 대한전기학회 논문지 제45권 제7호, 1996. 7.
- [9] In-Ho Hwang, et. al., "Application of the PV systems for Rural electrification" Korea · Japan PV Seminar, 1995. 5.
- [10] 黒川浩助, "太陽光發電システムの評價・測定に關する研究", 電子技術總合研究所報告, 第947號, 1993.
- [11] Ned Mohan, et. al, "*Power Electronics*". Second edition, John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- [12] Miles, W. T. and Patmore, J., "System Reliability Implications of Distributed Power Sources in the Electric Grid", New Energy Conservation Technologies and Their Commercialization, Vol. 3, 2773-2783, 1981.
- [13] Dugan, R. C., Jewell, W. T. and Roesler, D. J., "Harmonics and Reactive Power from Line-commutated Inverters in Proposed Photovoltaic Subdivision", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 102-9, 3205-3211, 1983.
- [14] T. Jewell, T. Rizy, "Interconnection problems Associated with Small Dispersed Electric Generators and Inverter Devices", ISA Trans., Vol. 23, No. 2, 1984.

< 이준신 위원 >