한국신·재생에너지학회 2006년도 추계학술대회논문집 pp.561~565

중소형 건물 태양광발전시스템의 실증 연구

김 응상[1], 김 슬기[2]
한국전기연구원

Field Test Study of Photovoltaic Generation System for Medium and Small-Sized Buildings

Eungsang Kim, Seulki Kim
Korea Electrotechnology Research Institute

Key words : Photovoltaic system, Field test, load demand curve, Installation Capacity
Abstract : the paper presents a method of assessing the adequate capacity of photovoltaic generation systems for public buildings based on analysis of load variation patterns of customers. When PV systems are installed for supplying power for the customer load, reverse power relay is required by the guideline to be installed at the point of common coupling with the power network. The suggested method analyzes daily, weekly and monthly load demand of the customer that wishes PV system installation, and determines the appropriate rating of the pv system for preventing PV generation from exceeding the customer demand. This work is expected to support renewable energy dissemination projects of public organizations.

1. 서 론

본 논문에서는 공공 기관의 중소형 건물에 태양광발전시스템의 적절한 설치용량 및 설계를 뒷받침 하고자 기존에 설치된 임의의 4개 장소에 대한 데이터 수집 및 분석을 수행한 결과 태양광발전시스템 자체의 출력만을 모니터링 하기 때문에 설치 장소의 부하량을 알 수 가 없으므로 새로운 장소를 선정하여 20 kW 태양광발전시스템을 설치하면서 설치장소의 일간 및 주간 전력부하를 모니터링시스템을 통하여 수집하도록 하였다.

기존에 모니터링을 포함하여 설치된 태양광발전시스템은 태양광발전시스템 자체의 출력만을 데이터로 수집하며, 일일 최대 및 최소 등 건물의 전력부하는 수집되지 않아 태양광발전시스템의 적절한 설치용량 결정에 참고데이터로서 활용이 불가능 하다. 본 논문에서는 태양광발전시스템 및 전력부하의 출력을 동시에 수집할 수 있으므로 태양광발전시스템의 출력과 공공기관 중소형 건물의 전력부하를 비교 분석하여 공공기관의 중소형 건물에 태양광발전시스템의 적절한 설치용량을 산정하여 태양광발전시스템의 최적 활용방안을 제시하고자 한다.

따라서 기 설치된 시청, 교육청, 정수장 및 경찰서로 다양한 공공기관에 설치된 태양광발전시스템을 선정하여 일정기간 태양광발전시스템 출력 데이터를 수집하였으며, 신규로 20kW 태양광발전시스템을 설계, 제작 및 설치하였으며, 상기의 4개 기관과 같이 운전을 통해서 태양광발전시스템과 건물의 전력부하를 모니터링 하였다. 수집된 데이터를 토대로 신규로 설치된 태양광발전시스템의 발전량과 건물의 최대 및 최소 부하를 비교분석 하여 경제적이고 효율적으로 운영이 가능 한 최적 설치 용량을 산정하고자 한다.

2. 기존 태양광발전 적용형태 분류

지금까지 국내에 설치된 태양광발전시스템을 본 논문에서는 크게 공공기관, 교육기관, 주택 기타로 분류하였고, 공공기관의 건물 형태는 정부청사, 경찰서, 정부출현 논문기관 등의 공공청사와 도청, 군청, 테크노파크 등의 지자체건물, 다중시설의 공원과 엑스포, 박람회 등과 같은 전시관, 그리고 기타로 건물 형태를 나누었다.

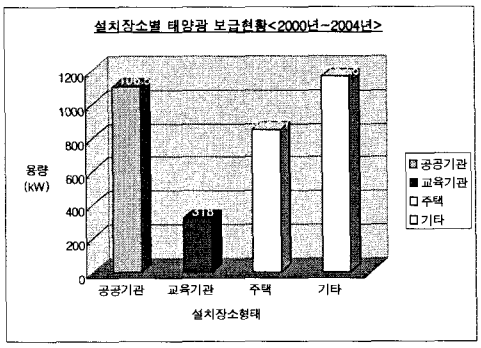

그림 1 설치장소별 보급현황

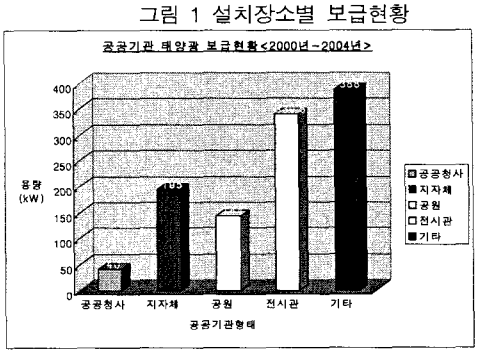

그림 2 공공기관 보급현황

최근 5년 동안의 태양광 발전시스템 설치장소에 따

른 보급현황을 그림 1에 그래프로 나타내었고, 공공기관 건물 형태에 따른 보급 현황은 그림 2와 같이 그래프로 나타내었다.

3. 기 운전 중인 태양광 운전 데이터 분석

태양광발전시스템을 설치하고자 하는 중소형 건물의 일일 최고치 부하량에 대한 정확한 데이터를 알고 있다면 그 데이터를 기초로 하여 설치 하고자 하는 용량을 미리 산정하여 적절한 공급용량의 태양광발전시스템을 설치 할 수 있을 것이다. 하지만 현재로서는 중소형 건물에 태양광발전시스템을 설치할 때, 각 개개의 중소형 건물의 일일 최대 및 최소 부하 량에 대한 정확한 데이터들이 제공되지 않고 있는 실정이다. 따라서 적절한 공급용량을 가지는 태양광발전시스템의 용량 산정에 다소 어려움이 있다.

본 논문에서는 기 운전 중인 4개 지역에 설치된 태양광발전시스템의 데이터 분석 방법은 다음의 내용에 기초로 하여 분석하였다. 1일을 기준으로 태양광발전시스템의 데이터들을 분석할 시에는 중소형 건물의 부하에 공급되어지는 태양광발전시스템의 전력 공급량이 태양의 일사량에 가장 크게 영향을 받는다는 점을 고려하여 24시간 동안의 태양광발전시스템 데이터들의 추이를 그래프로 도시 하였고, 태양광발전시스템의 동작 특성상 일출 시간 이후부터 일몰 시간대까지의 각 데이터들의 최고치 및 최저치를 분석 및 검토하는 것에 주안점을 두었다.

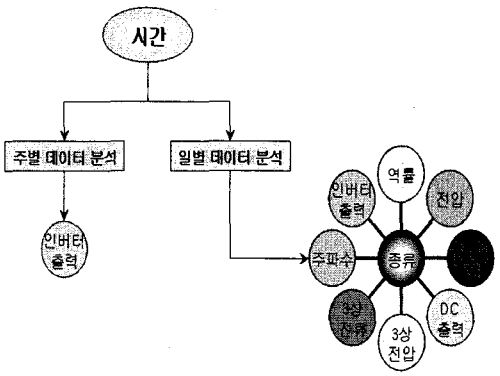

그림 3 태양광발전시스템 시간별 데이터 분석

주별 태양광데이터 분석 및 검토의 목적은 각 계절별로 일주일치의 태양광 데이터들을 분석해 봄으로써 계절에 따른 전력량 공급 및 수요에 대한 설치용량 기준을 제공 할 수 있을 것이다. 하지만 4개 지역에서 수집되어진 태양광발전 데이터들이 1년 치를 기준으로 종합적으로 수집된 것이 아니므로, A 지역과 B 지역은 여름 가을 겨울의 세 계절 중에서 임의로 한 주씩의 태양광 데이터를, C 지역의 경우는 겨울 한 계절 중에서 임의로 한 주 동안의 태양광 데이터를 골라내어 분석하였다.

1주일을 기준으로 태양광발전시스템의 데이터를 분석할 시에는 태양광발전시스템의 인버터의 출력의 일주일 동안의 추이 및 최대치와 평균, 분산값에 대해서 분석과 검토하는 것에 주안점을 두었다.

4. 수용가 데이터 분석용 태양광 실증운전

4.1 태양광발전시스템 구축

본 논문에서 신규로 설치한 태양광발전시스템 20kW는 2005년 12월에 설치 완료하였으며, 2006년 1월부터 태양광발전시스템의 출력 및 건물 전력부하 모니터링을 시작하였다. 태양광발전시스템 출력 및 전력부하 데이터는 현재까지 계속 수집하고 있으며, 물론 1년 이상 많은 데이터를 활용하는 것이 적절하겠지만 랜덤하게 수집하였던 2006년 1월 23일부터 29일까지 1주일, 2월 13일부터 19일까지 1주일 동안의 데이터를 수집 및 분석하였으며, 2006년 6월 5일부터 11일까지의 1주일 동안의 데이터를 수집 및 분석하여 결과만을 정리 하였다.

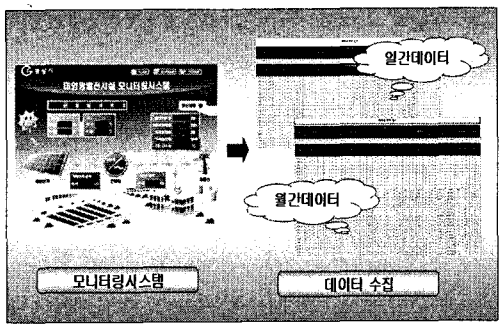

그림 4 모니터링 화면

태양광발전시스템 출력은 하루 동안 비, 구름과 같은 기후의 따른 일사량뿐 아니라 계절에 따라 태양의 위치변화에 따라, 1년 중에는 밤이 가장 길고 낮이 가장 짧은 동짓날(12월말)로부터 태양이 가장 높이 뜨고 낮의 길이가 긴 하짓날(6월말)에 가까워질수록 측정할 수 있는 일조시간이 길어짐에 따라 월평균 일사량이 증가하고, 장마기간 등 기후변화로 태양광발전 출력이 변하게 된다. 실제 시스템의 운용기간이 한정되어 있고 공공기관의 전력부하 형태가 주로 주간단위로 일정한 패턴을 유지하기 때문에 본 논문에서는 1주일씩 구분하여 데이터를 수집하고, 1일 동안과 주간 동안의 출력 변화를 분석하였다. 그리고 건물의 부하는 역시 계절별 냉난방시설의 사용에 따라 부하가 다를 수 있다. 본 논문에서는 그림4와 같이 모니터링시스템을 통해서 데이터는 계속적으로 수집되고 있지만 약 6주간의 일정기간 동안의 데이터를 수집 및 분석하여 태양광발전량과의 비교분석에 활용하였다.

모니터링 시스템에서 측정된 태양광발전의 출력으로 인버터에서 측정한 출력 데이터와 건물 부하를 측정한 데이터를 정리하였고, 각 변수들의 측정값은 10분 간격의 평균값을 표시한 것이다. 수집된 태양광발전의 변수들은 태양전지 어레이에서 직류(DC)출력이 인버터를 통해서 교류(AC)출력으로 변환되어지는데 이 때 인버터 출력에서 3상(R, S, T) 전압[V], 3상(R, S, T) 전류[A], 인버터의 주파수[Hz]와 역률[%] 및 전력[kW] 등을 수집하였고, 건물의 전력부하 변수는 태양광발전과 비교 분석하기 위해 이와 동일한 변수인 3상(R, S, T) 전압[V], 3상(R, S, T) 전류[A],

인버터의 출력주파수[Hz]와 역률[%] 및 전체 사용전력[W]을 분석하였다. 실제 모니터링 시스템에서의 데이터 수집 파라메타는 더 많지만 본 논문에 활용하고자 상기와 같은 데이터를 선택 수집 및 분석하였다.

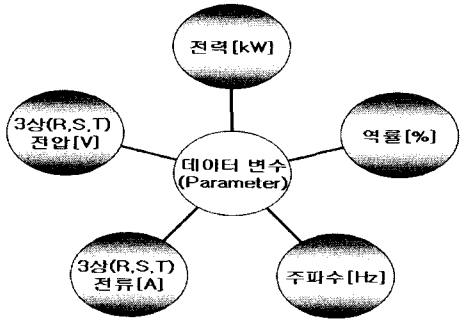

그림 5 데이터 변수

4.2 태양광 출력과 전력부하의 특성분석

중소형 건물에 설치할 태양광발전시스템의 적절한 용량 산출을 위해 태양광발전과 전력부하의 전력을 특성을 분석하면 다음과 같다.

- 2006년 1월 23일의 데이터에서 DC출력의 태양광 어레이에서 AC로 변환된 인버터의 출력은 태양빛 태양전지에 비칠 시간인 07시 50분경에 출력이 0[kW]에서 상승하기 시작하여 일사량이 높은 12시 30분경에 13.8[kW]까지 상승한다. 그리고 출력 곡선은 하강하게 되어 17시 30분경 이후 야간이 되면 0[kW]가 된다. 1일 동안의 출력데이터는 비와 구름 같은 영향을 태양의 일조 시간에 영향을 미칠 수 있으나, 2006년 1월 23일은 맑은 날의 태양광발전 출력 특성을 보여준다.

- 2006 1월 23일의 데이터의 중소형 건물의 부하전력 특성은 관공서의 건물 여건에 따라 야간 (00시 00분에서 07시경까지)동안 거의 20[kW]이하의 낮은 부하를 전력사용량을 보이다가 출근시간(약 08시 30분경)이 되자 급격히 상승하여 09시 20분경 480.98[kW]의 높은 전력사용량의 최고점을 보이고 있다. 근무시간 08시 30분경부터 18시경까지 높은 전력사용량은 거의 유지되다가 퇴근 시간에 급격히 하강하여 100[kW]이하까지 떨어진다. 야간 전력 사용의 특징으로는 저녁시간 이후 초과 근무하는 직원이 전등, 컴퓨터, 복사기 등과 같은 전기제품의 사용함으로써 주말의 야간 사용량보다 조금 높은 전력부하 특성을 가진다.

- 2006년 2월 14일에서 16일의 태양광발전 전력은 1일 동안에 비, 눈, 구름과 같은 기후의 영향으로 일조량이 변함에 따라, 전력 특성이 매우 불안정하게 변함을 보여주고 있다. 이러한 것은 신재생에너지원 중 태양광발전시스템의 단점이기도 하다.

- 주말인 토요일과 일요일의 건물부하의 그래프들을 살펴보면, 평일과 비교하여 최고값 400[kW]이상의 전력을 사용하던 곳이 주간에 근무하는 소수의 인원으로 인해 약간의 상승이 있기는 하나 최고값이 100[kW]이하로 주말에는 전력변동이 거의 없음을 보여준다.

표 1 태양광과 건물부하 평균전력(3주)

요일 / 측정 기간구분 (2006년)	월요일		화요일		수요일	
	태양광 (kW)	건물 (kW)	태양광 (kW)	건물 (kW)	태양광 (kW)	건물 (kW)
1월23일~1월29일	8.9	301.6	8.5	274.1	7.2	221.2
2월13일~2월19일	9.5	251.6	3.5	186.2	0.8	219.9
6월05일~6월11일	7.1	275.7	7.5	22.23	5.9	247.1

⇓

목요일		금요일		토요일		일요일	
7.7	203.0	7.8	159.0	8.1	16.9	6.0	26.7
2.5	188.4	10	227.6	5.9	16.4	6.1	15.3
1.5	214.6	8.4	162.7	6.6	19.7	8.6	17.8

표 2 태양광과 건물부하 최대/최소 전력(3주)

요일 / 측정 기간 구분 (2006년)	월요일		화요일		수요일	
	태양광 (kW)	건물 (kW) 최대/최소	태양광 (kW)	건물 (kW) 최대/최소	태양광 (kW)	건물 (kW) 최대/최소
1월23일~1월29일	13.8	480.9 / 15.04	13.7	421.7 / 21.21	12.6	382.2 / 15.77
2월13일~2월19일	15.0	428.5 / 15.01	11.3	328.8 / 15.24	3.4	295.2 / 16.69
6월05일~6월11일	13.2	482.6 / 15.21	13.1	47.61 / 15.00	12.5	373.4 / 16.30

⇓

목요일		금요일		토요일		일요일	
12.4	422.6/ 15.06	12.5	369.5/ 15.01	13.1	56.10/ 15.01	12.2	49.83/ 15.01
8.8	297.7/ 15.02	15.7	391.7/ 15.01	11.4	39.05/ 15.01	14.5	34.28/ 15.00
5.2	398.5/1 5.01	14.6	367.7/1 5.25	14.8	55.99/1 5.03	15.3	48.84/ 15.02

앞에서 신규태양광발전시스템 운전 시작 초기 3주간의 데이터와 최근 1주간의 태양광발전 및 건물부하에 대한 데이터 수집결과를 그래프를 통해 확인하였다.

요일별 초기 3주간 데이터에서 태양광발전시스템의 평균전력 특성은 비, 눈, 구름 등의 기후 요소에 따른 일조량의 영향을 받은 날을 제외하고, 1일 평균 7[kW]이상의 발전 출력을 보여준다. 한편, 중소형 건물의 부하 전력의 특징은 주 40시간의 구성원의 근무일인 월요일부터 금요일까지는 150[kW]이상의 평균전력을 보여주고 있으나, 주말의 경우 급격히 사용량이 줄어 30[kW]이하의 평균값을 보여준다.

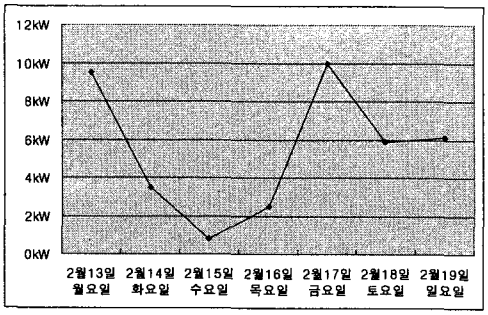

그림 6 2월 셋째 주 태양광발전전력

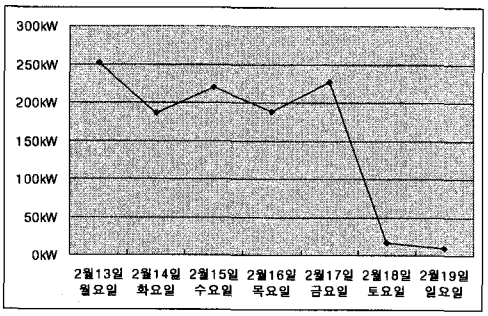

그림 7 2월 셋째 주 건물부하전력

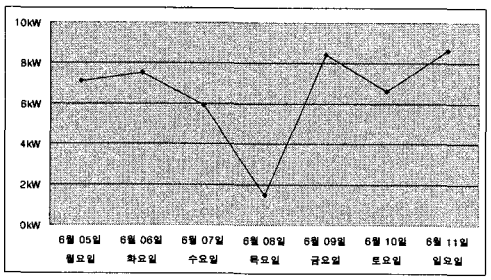

그림 8 6월 둘째 주 태양광발전전력

태양광발전시스템과 중소형 건물부하의 출력 데이터를 분석한 결과 태양광발전의 일조량에 따라 출력이 변동하고, 건물의 부하는 구성원의 근무 유무에 따른 전력소비의 변동을 알 수 있었다. 그리고 태양광발전과 건물부하는 데이터 분석을 통해 주간에 상승함을 알 수 있었는데, 이것은 중소형 건물의 전력소비가 많은 시간에 태양광에서 발전된 전력을 유용하게 활용할 수 있음을 입증하는 것이다.

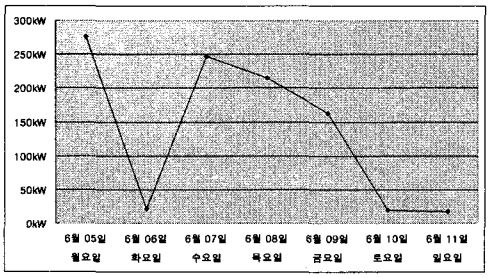

그림 9 6월 둘째 주 건물부하전력

5. 자가용 수용가용 태양광발전시스템의 적정용량 산정

현재 태양광발전시스템 설치 용량 산정 시 시스템 출력과 수용가 부하를 기술적으로 충분히 고려하지 않고 설치하고 있는 실정이다. 실제로 전력미거래 태양광발전 수용가의 경우, 태양광발전시스템의 출력이 설치 수용가의 전력사용량 최소부하와 연계점에서 역전력 계전기의 정정치를 합한 값을 초과하는 경우, 설치장소에 정전이 야기시킨다. 따라서 전력미거래 수용가에 태양광발전시스템 설치 시 불필요한 정전을 일으키지 않도록 적절한 용량을 산정할 필요가 있다. 전력미거래 수용가용 태양광발전시스템 적정용량을 선정하기 위해서는 우선 설치하고자 하는 수용가의 전력사용량을 정확하게 체크해야 한다. 2005년 12월 한국전력공사의 태양광발전 등 신재생에너지전원을 설치하는 경우에 지켜야 할 연계규정에 의하면 ① 요금상계거래고객(3kW 이하), ② 신재생에너지발전사업자 ③ 자가용 신재생에너지 발전설비 설치자(전력거래 고객) ④ 자가용 신재생에너지 발전설비 설치자(전력 미거래 고객)로 구분하여 각각에 대해서 적절한 기준을 준수하도록 요구하고 있다.

따라서 태양광발전시스템을 설치하기 전에 수용가의 전력사용량을 두 가지 방법에 의해서 체크한다. 하나는 연계점에 기 설치된 PT와 CT를 통해서 일정기간동안 수용가의 전체 전력사용량을 체크하는 방법이 있고 두 번째는 최근에는 수용가의 전력사용량 체크 계량기가 디지털화 되어 있어서 수용가의 전력사용량을 매15분마다 체크하며, 체크한 전력사용량을 일정기간 저장하고 있기 때문에 저장된 전력사용량을 통해서 필요한 일정기간동안의 수용가의 전체 전력사용량을 체크 할 수 있다. 이와 같은 방법에 의해 체크된 전력사용량을 토대로 평일과 휴일 각각 최대 부하와 최소부하를 찾아낼 수 있으며, 특히 휴일 최소부하를 체크한 후 상기 휴일 최소부하 보다 적은 용량의 태양광발전시스템을 설치해야만 태양광발전시스템에 의해서 발전된 전력이 디지털 제어방식에 의해 계통으로 역조류 하지 않고 우선적으로 수용가내부에서 소진되므로 운전상의 문제가 발생되지 않고 효율적으로 운전이 가능 할 것으로 판단된다.

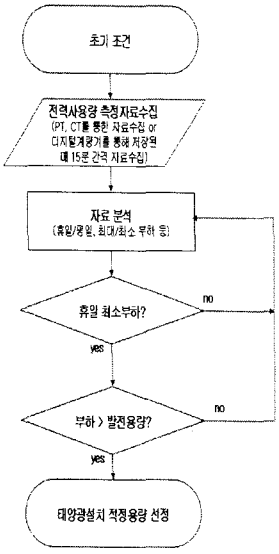

그림 10 적정 용량 산정 절차

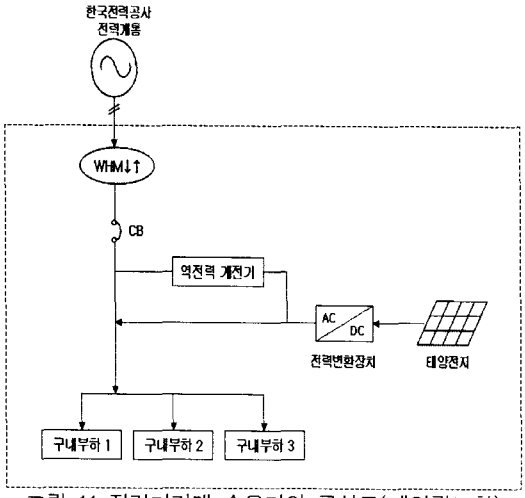

그림 11 전력미거래 수용가의 구성도(태양광포함)

6. 결 론

본 논문에서는 공공 기관의 중소형 건물에 태양광 발전시스템의 적절한 설치용량 및 설계를 뒷받침 하고자 기존 설치되어 운전되고 있는 4개 장소에 대한 데이터 수집 및 분석을 수행하였으며, 새로운 장소를 선정하여 태양광발전시스템의 운전 출력 및 설치장소의 일간 및 주간 전체전력 부하량 측정기능을 갖는 모니터링 시스템을 부가한 20kW 태양광발전시스템을 설치하여 약 6개월 기간에 걸쳐 운전데이터를 비교 분석하였으며, 그 결과 공공기관에 내부 전력공급용으로 설치하고자 하는 태양광발전시스템의 적정 설치용량을 산정하는 방법을 제시하였다.

본 논문에서의 논문결과를 전력사업자용이 아니고 중소형 건물 등에서 순수 내부사용 목적으로 태양광발전시스템을 설치하는 경우 전력부하 사용량을 고려한 설치용량을 적절하게 산정하는 방법을 추후 공공기관 및 중소형 건물에 태양광발전시스템을 설치하는 경우에 적용이 가능 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1) R.L. Steigerwald, A. Ferraro, F.G. Turnbull, "Application of Power Transistors to Residential and Intermediate Rating Photovoltaic Array Power Conditioners", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-19, pp.254~267, March/April 1983.

2) S.J. Chiang, K.T. Chang, C.Y. Yen, "Residential Photovoltaic Energy System", IEEE Trans. Indus. Electronics, vol.45, no.3, pp.385-394, 1998.

3) T. Kawamura et al., "Analysis of MPPT Characteristics in Photovoltaic Power System", Journal, Solar Energy Materials and Solar Cells Vol.47 pp.155-165, 1997.

4) M. Park, K. Matsuura, M. Michihira, "A Novel Simulation Method of PV cell using Field Data", Trans. IEE Japan, Vol. 121-B, No. 2, pp.262-263, 2001.

5) IEEE Std 929-1988(Reaff 1991), IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Residential and Intermediate Photovoltaic (PV) System(ANSI)

6) L Zhang, A Al-Amoudi, Yunfei Bai, "Real-time Maximum Power Point Tracking for Grid-Connected Photovoltaic Systems", Power Electronics and Variable Speed Drives, 18-19 September 2000, Conference Publication No. 475.

7) IEEE Std. 929-2000, IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic(PV) Systems, Sponsored by IEEE Standards coordinating Commitee 21 on Photovoltaics, Published by IEEE, New York, NY, Apr 2000.