

3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 출력특성

안교상, 임희천, 황인호*
한국전력공사 전력연구원, 충북도립 옥천전문대학*

A characteristics on the generating power of a 3-phase photovoltaic power system for grid-connection

Kyo-Sang Ahn, Hee-Chun Lim, In-ho Hwang*
KEPRI-KEPCO, Ok Chon College*

Abstract - This paper was analyzed the high-frequency harmonics, power conversion rate, results of the system's monitor, and measuring data of the system power output of a 3-phase photovoltaic power system for grid-connection. The photovoltaic power system consists of a 3-phase inverter, array, and data acquisition system. The result of an analyzing data of the 50 kW class grid-connected photovoltaic system showed the stable behavior in utility-interactive operation

위한 최대전력 추종제어가 필요하다.

계통연계형 인버터제어는 직류전압제어의 설정 전압치 (V_{ref})를 최대전력이 얻어지는 방향으로 변경하는 방식으로, 최대출력제어 알고리즘은 태양전지 전압 (V_N)과 그 출력전력(P_N)을 제측하여 이 값들을 전회 측정치 (V_B, P_B)와 크기를 비교함으로써 현재의 동작점이 그림 1의 P-V 곡선의 최대점보다 좌측에 있는지 우측에 있는지를 판정하여 설정 치의 중간방향을 결정한다. 제어 불럭도는 그림 2와 같다.

1. 서 론

무한하고 깨끗한 대체에너지원인 태양에너지를 이용한 태양광 발전방식은 인공위성, 산간벽지, 도서지역, 통신 및 제측전원 등 상용전력계통이 존재하지 않는 소규모 전원 시스템 개발을 위하여 사용되어 왔다. 그러나 최근의 태양전지를 비롯한 시스템의 저가격화 및 변환 효율 개선이 진전됨에 따라 본격적인 전력 시스템으로 실용화 보급이 확대되는 추세에 있다.

태양광 발전시스템은 대체에너지원 중에서 가장 실용화에 가깝고 운전 및 유지보수가 용이하며, 태양전지 모듈화가 가능하여 용량의 신축성이 있으며, 태양에너지를 이용하는 것으로 무한의 에너지를 얻을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 태양광 발전은 화석연료 고갈에 대처할 수 있는 대체에너지원으로 각광을 받고 있으며, 최근 문제되고 있는 지구환경문제 해결에도 부합할 수 있는 특징을 갖고 있다.

현재 국내의 태양광 발전 현황은 전력사업용으로 유인 도서 전화사업의 일환으로 도서지역에 보급되어 운영 중에 있으며, 기타 등대, 통신시설, 가로등, 국립공원 대피소 등에 3.2 MW 이상이 보급되어 활용되고 있다. 태양광 발전시스템 중에서도 가장 실용화 보급 잠재력이 큰 부분은 계통연계형 태양광 발전시스템으로, 확대 보급시 태양광 발전시스템의 출력특성에 의한 기존 전력계통의 피크전력을 감소시키는 효과도 기대할 수 있다.

본 고에서는 배전계통에 연계하여 운전 중인 중규모 50 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 출력을 측정하고 모니터링 시스템 자료 분석을 통하여 계통과 안정된 병렬운전과 분산형 전원으로써 태양광 발전시스템의 운전 신뢰성에 대하여 설명하고자 한다.

2. 본 론

2.1 태양전지 어레이 출력제어

태양전지는 일사량 조건, 온도 등의 기후 여건에 따라 출력특성이 변화하게 되고, 그 순간의 연속성에 따라 I-V 곡선상의 최대 출력점 (P_{max} , Maximum power point)이 움직이게 된다. 따라서 태양광발전 출력을 최대로 하기 위해서는 P_{max} 점에서 동작하도록 제어하기

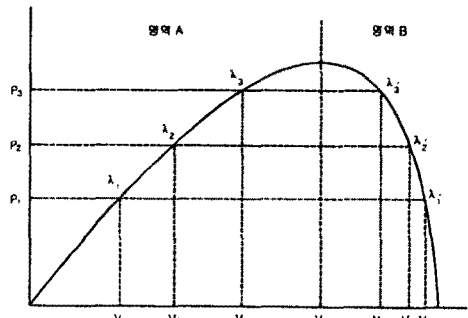


그림 1. 태양전지 출력특성

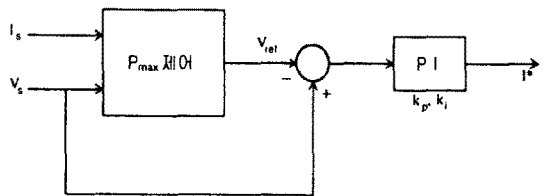


그림 2. 최대출력제어 블럭도

2.2 계통연계형 태양광 발전시스템 출력특성

태양광 발전시스템은 태양의 광기전력효과를 이용하여 발전되므로 일사량, 온도, 습도 등 기상조건에 의해 출력이 변화되는 특징을 가지고 있다. 현재까지 실용화되어 사용되고 있는 태양광 발전시스템은 대부분이 직류부하를 대상으로 한 소규모 용량의 것으로 시스템 구성은 태양전지와 축전지가 결합되어 있는 간단한 형태이지만, 본격적인 전력용으로서의 일반적 시스템은 교류부하를 대상으로 한 것이 많고, 전력계통과의 연계가 일반적이다. 태양광 발전시스템의 구성은 그 이용형태에 따라 다양하지만, 계통연계형 시스템의 기본 구성은 그림 3과

같다.

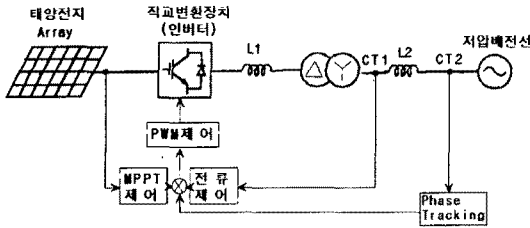


그림 3. 연계형 태양광 발전시스템의 구성도

계통연계형 태양광 발전시스템은 전력계통과 부하 소비전력을 분담하며, 부하의 사용량보다 큰 출력에서는 태양광 발전시스템으로부터 전력계통으로 역 송전을 하는데, 이를 역 조류라 한다. 따라서, 역 조류 발생시 인버터에서 발생된 고조파가 계통에 영향을 주기 때문에 협조가 필요하고, 전력조류의 값이나 방향에 따라서 배전 선로에 영향을 주게 되어 전압변동 특성에도 주의하여야 한다.

태양전지에서 발전된 직류전기를 배전선 연계를 위해 인버터라 불리는 DC/AC 전력변환장치를 필요로 한다. 인버터는 일반 전기 기기를 사용할 수 있도록 태양전지 직류 출력을 상용주파수의 교류로 변환하는 것으로 계통 품질의 유지를 위해 낮은 왜율과 전압의 안정화를 필요로 하며, 계통과 태양광 전력변환 시스템의 보호 협조, 인버터 등 주변장치의 저가화 및 변환 효율향상 등에 중점을 두게 된다.

연계형 발전시스템 운전의 Inverter synchronizing frequency range는 $\pm 2\text{Hz}$, Inverter slew rate 2.0 Hz/sec로 병입되며, 보호장치는 0.5초 미만의 계통 변화에 대하여는 안전한 운전을 지속되도록 하였다. 또한, 역율은 1.0으로 설정 제어하고 있다. 표 1은 전력연구원 내에 설치되어 운전중인 50 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 일일(2000.4.7) 출력 현황을 보여 주고 있다. 태양전지 출력은 302 kWh로 인버터를 통하여 계통에 공급된 전력량은 280 kWh로 일일 전력 변환효율은 92.7%를 나타내고 있다.

표 1. 태양광 발전시스템의 출력(2000.04.07)

시간	인버터 출력					태양전지 출력				변환효율 (%)
	R상 (A)	S상 (A)	T상 (A)	전압 (V)	출력 (kW)	전압 (V)	전류 (A)	전력 (kW)		
07	1.8	1.6	1.3	378	0.9	329.8	4.1	1.5	62.0	
08	9.8	9.4	9.6	382	6.3	355.8	19.6	7.1	88.0	
09	26.0	24.9	26.0	382	16.9	351.5	51.3	18.1	93.0	
10	43.6	41.8	44.0	383	28.5	324.8	93.4	30.5	93.5	
11	49.4	47.5	50.1	382	32.3	316.7	108.9	34.6	93.4	
12	55.3	53.2	56.2	384	36.2	309.8	124.7	38.8	93.4	
13	56.6	54.5	57.4	383	37.3	305.2	130.5	40.0	93.4	
14	55.4	53.3	46.3	383	36.4	305.9	126.9	39.0	93.3	
15	50.3	48.5	51.0	382	32.9	310.1	113.3	35.3	93.3	
16	40.6	39.1	41.0	381	26.5	317.5	89.0	28.4	93.4	
17	27.2	26.3	27.4	382	17.7	329.8	57.5	19.1	92.9	
18	11.2	11.0	11.1	380	7.3	331.8	24.2	8.2	88.8	
19	1.3	1.4	0.8	380	0.7	297.6	3.7	1.2	59.9	
합					280		302			

2.2.1 발전시스템 출력

그림 4는 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 발전 운전 시간대의 일일 송전단 각상의 전류와 전압 및 태양전지 어레이의 출력 추이를 보여 주고 있다. 송전단에서 각상은 전류의 불평형 없이 안정된 전력을 공급하며, 출력 전압도 역시 전압 변동 없이 안정적으로 공급되어 지

고 있음을 볼 수 있다.

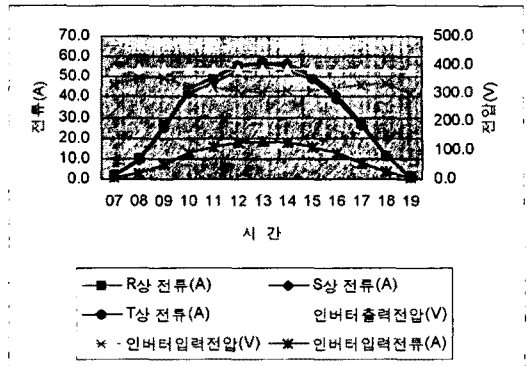


그림 4. 태양광 발전시스템 일일 출력 현황

2.2.2 전력변환 효율

그림 5에서 보듯이 발전시스템의 기동·정지시 정격 출력의 10% 미만에서는 낮은 전력변환 효율을 보여 주지만 그 이상의 출력에서는 양호한 전력변환 효율을 보여 주고 있다. 태양광 발전용 전력변환장치는 기상조건의 영향을 받으므로 정격출력보다는 80% 출력에 가장 양호한 변환 효율이 되도록 설계하여야 한다.

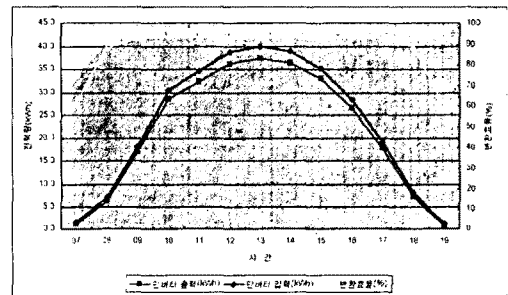


그림 5. 인버터의 일일 전력변환 효율 추이

2.3 전력변환장치 고조파 왜율

발전전력 출력의 고조파 발생원인은 태양광 발전용 인버터는 직·교류 전력변환에 전력반도체 스위칭소자를 사용하기 때문으로 불필요한 고조파 전류의 유입 등에 의한 계통전력 품질의 열화 등을 방지하기 위하여 엄격히 제한할 필요가 있다. 표 2는 50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템의 출력 변화에 따른 전류 고조파 왜율을 측정 한 값을 보여 주고 있다.

표 2. 출력 변화에 따른 인버터의 고조파 왜율

출력 kWh	차 수 (%)															odd (%)	even (%)	THD (%)
	2	3	4	5	7	8	9	11	13	15								
5.1	3.4	4.1	1.0	6.7	3.2	0.4	0.6	1.7	1.5	0.5	8.9	3.5	9.6					
10.1	3.3	2.3	1.1	2.2	1.4	1.5	0.2	0.5	0.7	0.4	3.6	3.5	5.0					
16.1	0.5	3.0	-	1.2	1.0	-	-	0.4	0.4	0.3	3.5	0.6	3.5					
21.7	0.5	2.3	-	0.9	0.8	-	-	0.3	0.3	-	2.6	0.5	2.6					
26.6	0.5	1.9	-	0.7	0.7	-	-	-	0.2	-	2.2	0.5	2.3					
31.4	0.5	1.7	-	0.6	0.5	-	-	-	-	-	1.9	0.5	2.0					
35.1	0.6	1.5	-	0.6	0.6	-	-	-	-	-	1.7	0.6	1.8					
40.8	0.7	1.3	-	0.6	0.5	-	-	-	-	-	1.5	0.7	1.6					
45.8	0.4	1.3	-	0.5	0.4	-	-	-	-	-	1.4	0.4	1.5					

측정값을 보면 제 3차, 5차 고조파 성분이 높게 나타나고 있으며, 정상 출력에서는 고조파 왜율은 대단히 양호한 상태를 보여 주고 있다.

2.4 송전단 모니터링 결과

본 시스템에 사용된 인버터는 전압형 전류제어 방식으로 출력 전압·주파수 등은 계통을 추종하여 동기운전을 하며, 기상조건의 변화에 따른 출력은 전류의 변화로 나타나고 있다. 그림 6~그림 8은 인버터 출력의 전류, 전압, 주파수 운전출력 상황을 실시간으로 일일 모니터링 한 것으로, 오전의 기상상태는 양호하였으나, 오후에는 기상의 변화가 심하였음을 보여 주고 있다. 기상의 변화에도 시스템은 출력의 단속 없이 발전하였음을 보여 주고 있으며, 전압과 주파수는 커다란 변화 없어, 시스템 출력은 안정적으로 운전되고 있음을 볼 수 있다.

50KWPV KEPRI May 15. 2000
 PHASE B Arms 00:00:20
 Current: 0.0 Arms min. 48.7 Arms max

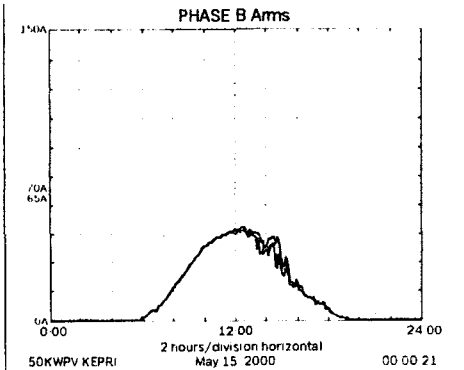


그림 6. 인버터 출력전류(R상) 모니터링 현황

50KWPV KEPRI May 15. 2000
 PH B-NEUT Vrms 00:00:16
 Voltage: 215.8 Vrms min. 223.3 Vrms max

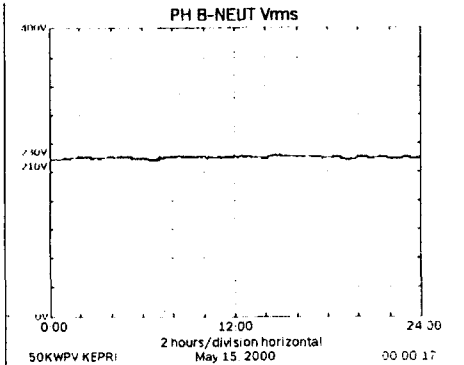


그림 7. 인버터 출력전압(R상) 모니터링 현황

50KWPV KEPRI May 15. 2000
 PH B-NEUT Frequency 00:00:27
 Frequency: 59.8 Hz min. 60.1 Hz max

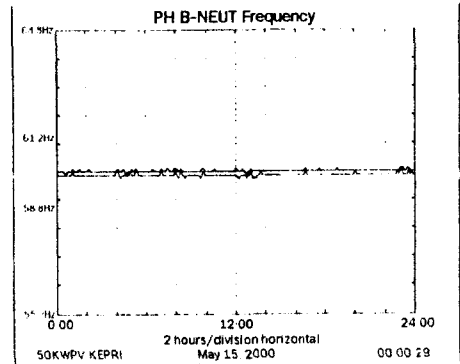


그림 8. 인버터 출력 주파수 모니터링 현황

3. 결 론

무한의 태양에너지를 이용한 태양광 발전시스템은 자연 환경의 영향을 받는 발전 방식으로, 전압변동 문제, 고조파의 발생 문제 등 전기 품질의 열화를 초래 할 수 있어, 시스템의 제어와 계통과의 보호 협조 문제에 중점을 두어 개발의 목표를 삼고 있다. 중규모 50 kW급 3상 계통연계형 태양광 발전시스템의 출력을 측정과 모니터링 시스템 자료를 분석한 결과는 연계형 태양광 발전 시스템은 계통과 적절히 동기 운전되고 있음을 보여 주고 있으며, 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

가. 자연환경 변화에 의한 인버터 입력의 변화에도 발전시스템으로서의 운전은 지속적으로 안정적으로 운전되고 되어 시스템의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

나. 교류 전력 변환을 위하여 사용되는 고속 스위칭 전력 반도체 소자에 의해 발생할 수 있는 전류 고조파 왜율도 정상상태에서는 허용치 이내의 안정된 값을 보여 주고 있다.

다. 직류 전기를 교류전기로 변환하는 인버터의 전력 변환 효율도 93%의 높은 효율을 보여 주고 있다.

라. 발전시스템의 송전단에서 전기품질 모니터링 결과 전압, 주파수 등 변동 없이 안정된 상태로 운전되고 있어, 계통과의 병렬운전에 적절히 추종함을 보여주고 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] 안교상, 임희천, "50 kW급 계통연계형 태양광 발전시스템 개발(최종보고서)", 전력연구원, TR.96TJ01.S1999.756, 1999
- [2] 안교상, 임희천, 강병삼, "중규모 태양광 발전시스템의 운전 특성 분석", 한국태양에너지학회 학술대회, pp. 46-52, 2000
- [3] 안교상, 황인호, 임희천, 김진섭, "계통연계 태양광발전시스템의 제어기법 및 연계운전 특성", 전력전자학회 논문지, 제 5권 2호, pp. 123-129, 2000