

## 계통 연계형 태양광 발전시스템의 전력품질에 관한 연구

(A Study on the Power Quality of the Grid connected Photovoltaic Power System)

최형범\* · 김경철 · 황영록

(Hyoung-Bum Choi · Kyung-Chul Kim · Young-Rok Hwang)

### Abstract

Development and use of renewable energy due to environmental problems and depletion of energy affect grid-connected power system around the world. Therefore this paper analyzes the characteristic of grid connected photovoltaic power generation system which it is available to connect the utility. Renewable energy photovoltaic power system has been linked to the system to analyze the impact of photovoltaic system. MATLAB / Simulink program is modeled and analyzed on power quality of a photovoltaic power plant. It is measured that power data for the Grid connected photovoltaic power plant with instantaneous measuring, 3sec measuring, 10min measuring for 7 days. Harmonic field measurement have shown that the harmonic contents of a waveform varies with time. A cumulative probability approach is the most commonly used method to solve time varying harmonics. so, it is used 50[%] cumulative probability approach. This paper provides an in depth analysis on power quality field measurement of the Grid connected photovoltaic power plant.

Key Words : Photovoltaic Power System, Power System Quality, Harmonic Measurement, Harmonic Assessment

### 1. 서론

경제성장과 산업발전이 급속하게 진행되면서 환경 변화와 에너지의 수요가 증가하게 되었다. 따라서 화석에너지의 보유량의 감소, 지구온난화 환경문제 등이 심각한 상태에 이르게 되어 전 세계적으로 대체에너지로서 신재생에너지 시장이 급속하게 성장하고 있다.

\* 주저자 : 홍익대학교 박사과정  
Tel : 041-860-2760, Fax : 041-863-7605  
E-mail : choihb70@dreamwiz.com  
접수일자 : 2011년 6월 29일  
1차심사 : 2011년 6월 2일  
심사완료 : 2011년 7월 20일

현재 시점에서 일정수준의 전원품질을 유지하면서 개발된 대체에너지 전원이 기존의 배전계통에 도입 보급해 나아갈 수 있는 기술의 개발은 상당히 중요하다고 할 수 있다[1].

본 논문에서는 계통과 원활히 동작할 수 있는 계통 연계형 태양광 발전시스템에 대한 특성을 해석하고, 실제 시스템에 적용하여 운용되고 있는 시스템의 운전특성 및 효율성을 비교·분석, 전력계통에 대한 영향을 검토하고자 한다[2-3]. 모델링과 제어회로 구현이 간편한 MATLAB/Simulink를 이용하여 태양광 셀 및 모듈 모델링을 수행하였으며 모델링 검증을 위하여

임의의 일사량 및 온도 등의 조건에 따라 셀 특성 확인 및 실제 모듈의 특성과 전력품질을 비교분석하였다. 고조파원에 대한 정확하고 신뢰성 있는 측정과 평가는 전력 시스템의 고장과 오동작 등을 예방할 수 있게 할 뿐만 아니라, 공동결합점(PCC, the Point of Common Coupling)에서 수용가와 전력회사의 역할과 책임을 분담하게 한다. 수용가는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전력시스템의 전력품질이 일정수준 이상 유지되어야 하고, 전력회사는 공동결합점에서의 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 유지시켜야 한다[4]. 본 논문에서는 측정된 고조파를 분산형 전원 배전계통연계 기술기준에 의해 평가 및 분석하고자 한다[5].

## 2. 계통연계 태양광 발전시스템

### 2.1 기본구성과 기능



그림 1. 태양광발전시스템  
Fig. 1. Photovoltaic power plant system

### 2.2 태양전지 모델 및 시뮬레이션

태양광 발전은 일사량과 온도와 부하조건에 따라서 출력특성이 변화하게 된다. 태양전지의 특성은 일사량, 온도, 셀 특성에 따라 다음 수식으로 일반화 할 수 있으며 식 (1)은 부하전류를 나타내고 식 (2)는 광전류를 나타낸다. 여기서  $I_{ph}$ 는 광 전류,  $I_{sat}$ 는 포화전류,  $V_L$ 은 태양전지 단자전압,  $q$ 는 전자 전하량 쿨롱 상수 ( $1.602 \times 10^{-19}(C)$ ),  $n$ 은 다이오드 이상 정수,  $k$ 는 볼츠

만 상수( $1.38e-23(J/K)$ ),  $T$ 는 셀의 온도(K),  $R_S$ 는 직렬 저항( $\Omega$ ),  $R_{SH}$ 는 병렬저항( $\Omega$ ),  $T_{ref}$ 는 기준온도(298K),  $I_{sco}$ 는 기준온도에서의 단락전류(A),  $S$ 는 일사량 ( $W/M^2$ )  $S_{ref}$ 는 기준 일사량  $I_T$ 는 단락전류 온도계수이다.

$$I_L = I_{ph} - I_{sat} * (\exp(\frac{q(V_L + I_L R_s)}{nkT}) - 1) - \frac{V_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$I_{ph} = I_{sco} * (\frac{S}{S_{ref}}) + I_T * (T - T_{ref}) \quad (2)$$

태양광 발전시스템은 모듈, 접속함, 축전지, 전력변환장치, 변압기로 구성되어 있으며 계통연계 태양광시스템을 구성하기 위하여 태양전지의 특성이 필요하다. 태양전지 특성방정식을 참조하여 그림 2와 같이 Matlab/Simulink로 시뮬레이션을 하였다.

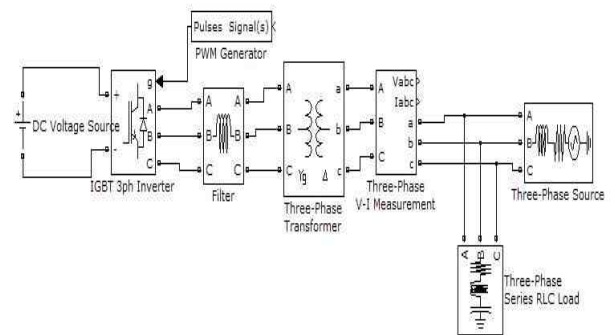


그림 2. 계통연계형 태양광 시스템의 블록도  
Fig. 2. Block diagram of grid connected photovoltaic system

태양광 셀의 수학적 모델을 바탕으로 모듈 모델링의 특성을 분석하였다. 셀은 일사량과 온도의 변화 특성에 따른 출력전압 전류특성을 표현하여 모델링의 타당성을 검증하였다. 태양광 특성방정식을 이용하여 온도와 일사량에 따른 출력특성을 알아보기 위해 170[W] 모듈의 I-V, P-V시뮬레이션 한 결과를 그림 3, 그림 4에 나타내었고, 태양전지의 전압을 시간과 동일하게 상승시켰고, 그에 따른 특성곡선을 확인할 수 있었다.

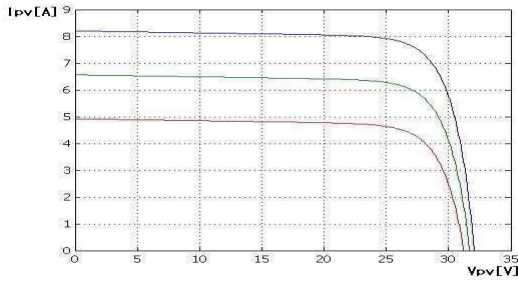


그림 3. 태양광 모듈 I-V곡선  
Fig. 3. I-V characteristic of PV module

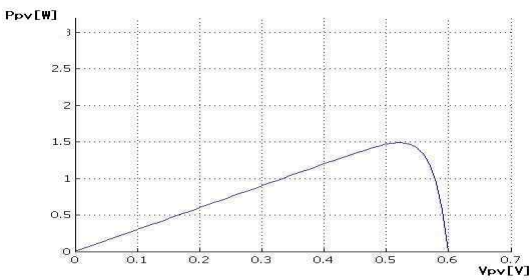


그림 4. 태양광 모듈 P-V 곡선  
Fig. 4. P-V characteristic of PV module

일사량 감소에 따라 출력전류가 크게 감소하고 전압은 미세하게 감소함에 따라 전력이 감소함을 알 수 있다. 온도 증가에 따라 출력전압이 감소하고 출력전류는 미세하게 증가하지만 전력이 감소함을 알 수 있다.

### 3. 계통 연계 기준

대체에너지 이용 분산전원의 계통연계와 관련한 사항은 한국전력공사와 전기공급약관 제 39조와 분산형 전원 배전계통 연계기술기준 등의 지침에 규정하고 있으며, 전력품질의 계통연계기준을 요약하면 다음과 같다.

#### a) 전압변동

분산형 전원 발전설비의 연계로 인한 특고압 계통의 상시 전압변동(10분 평균값)은 2[%] 이하이고, 순시전압변동(2초 이하)는 2[%] 이하로 한다.

#### b) 고조파 전류

분산형 전원발전설비로부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 중합 전류왜형률

이 5[%]를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다. 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는) 발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율이 표 1에서 규정범위 이하이어야 한다.

표 1. 고조파 전류 규정범위  
Table 1. Harmonic current limit

고조파 차수	기준	착수
$h < 11$	4.0	1
$11 \leq h < 17$	2.0	0.5
$17 \leq h < 23$	1.5	0.375
$23 \leq h < 35$	0.6	0.15
$35 \leq h < 40$	0.3	0.075
TDD	5.0	1.25

#### c) 플리커

분산형 전원 발전설비의 빈번한 출력변동 및 병렬분리에 의한 플리커 가혹도 지수는 특고압 계통 연계지점에서 단시간(10분) Pst는 0.35이하로 장시간(2시간) Plt는 0.25이하로 제한하여야 한다.

#### d) 역률

분산형 전원 발전설비의 역률은 계통 연계지점에서 원칙적으로 90[%]이상으로 유지한다.

#### e) 직류 전류 계통 유입 한계

분산형 전원 발전설비는 전력계통 연계지점에서 발전기용량 정격 최대전류의 0.5[%]이상인 직류전류를 유입해서는 안 된다.

## 4. 전력품질 측정

### 4.1 사례연구 시스템

그림 5는 사례 연구 시스템의 단선도이다. 변전소는 공급전압이 22.9[kV], 단락용량이 300[MVA], 단락임피던스는 100[MVA] 기준으로  $0.144 + j36.367$ [%]이다. 배전선로는 정상임피던스가 1.4325[Ω]이고, 영상임피던스가 4.4678[Ω]이다. 태양광발전소는 170[W] 단결

정 실리콘태양전지모듈을 17 직렬과 16~17 병렬로 구성된 어레이로 총 발전용량은 1.2[MW]이고 케이블 TR CNCV-W 325[mm]로 지중으로 650[m] 포설 후 선방선로에 연결되어 있으며, Utility Bus에는 풍력발전소 1.3[MW]를 포함하여 기타 부하가 연결되어 있다.

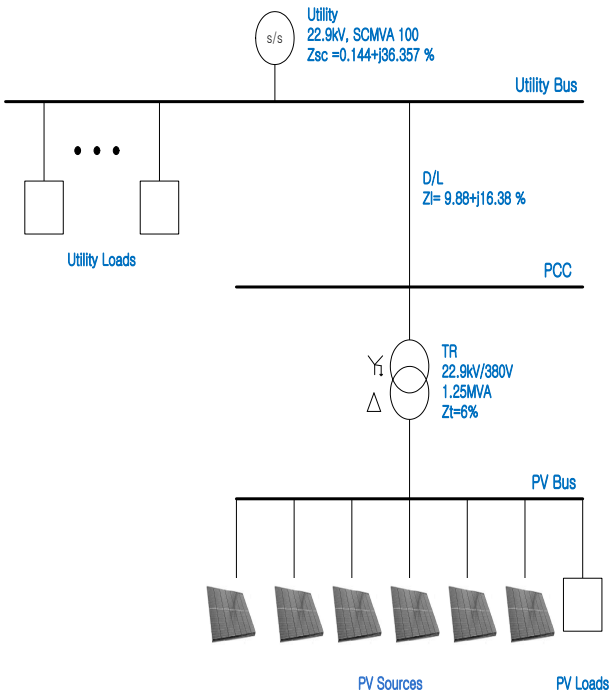


그림 5. 사례연구 시스템  
Fig. 5. Distribution system under case study

### 4.2 전력품질 측정

전력품질 측정은 1.2[MW] 태양광 발전소 VCB판넬 측정단자에서 이루어졌다. 고조파는 시간에 따라 변하므로 IEC 61000-4-7[6]에 따라 측정시간을 순시치, 3초, 10분으로 한다. 고조파 측정장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5[7], 3초 측정용으로 Dewetron PNA600, 10분 측정용으로 PQM장비[8]가 사용되었다.

#### 4.2.1 태양광 발전 시스템

표 2는 1분마다 데이터를 측정하여 1시간 평균값을 나타내었고 24시간 데이터이다.

표 2. 태양광 발전 데이터  
Table 2. PV generated data

구분	전압	전류	전력	외기 온도	경사 일사량
	V	A	kW	°C	W/m <sup>2</sup>
0시	23,058	0.0	0.0	9	0
1시	22,870	0.0	0.0	9	0
2시	22,873	0.0	0.0	9	0
3시	22,913	0.0	0.0	9	0
4시	22,908	0.0	0.0	9	0
5시	22,934	0.0	0.0	9	0
6시	22,873	0.0	0.0	9	12
7시	22,926	2.1	76.0	9	96
8시	22,981	8.5	331.0	10	271
9시	22,968	15.8	605.5	10	477
10시	23,044	21.1	817.2	10	661
11시	23,023	23.8	949.9	11	800
12시	23,104	25.6	1,016.5	11	879
13시	23,070	25.6	1,016.8	11	894
14시	22,991	24.1	956.5	11	823
15시	23,054	20.7	823.0	10	693
16시	23,039	15.9	616.4	12	391
17시	23,063	8.8	339.0	10	294
18시	23,071	2.7	89.6	10	64
19시	23,033	0.7	0.0	10	16
20시	23,028	0.0	0.0	9	0
21시	23,028	0.0	0.0	9	0
22시	22,956	0.0	0.0	10	0
23시	22,982	0.0	0.0	10	0
24시	22,939	0.0	0.0	9	0

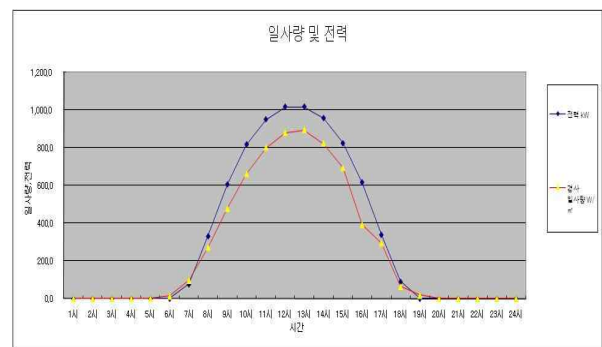


그림 6. 일사량과 전력  
Fig. 6. Insolation and power output

온도와 일사량에 따른 발전출력을 측정하여 태양광 시스템의 효율성이 양호함을 확인할 수 있다.

4.2.2 전력품질 순시치 측정

고조파 측정장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5가 사용되었다. BMI-PX5는 윈도우 크기가 12사이클로 측정하고, 1사이클에 256 샘플링, 1채널에 1[μs]로 데이터를 검출한다. 순시치 측정은 계통 연계 시뮬레이션에 필요한 중요한 자료로 쓰일 수 있다.

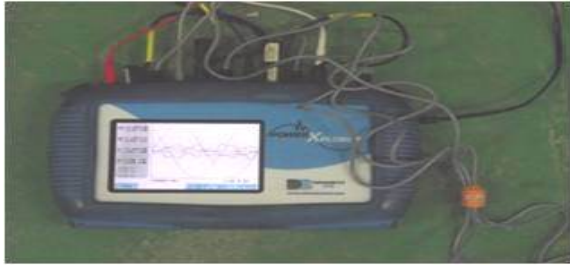


그림 7. 측정장비(BMI-PX5)  
Fig. 7. Measuring equipment(BMI-PX5)

BMI-PX5 장비로 측정한 데이터를 요약하면 표 3과 같다. 그림 8과 그림 9는 측정된 전압과 전류 파형이다. 편의상 A상만 나타내었다.

표 3. PX5 측정 데이터  
Table 3. Measured data by PX5

		A상	B상	C상
전압	Vrms[V]	13,346	13,295	13,384
	VTHD[%]	0.52	0.52	0.62
전류	Irms[A]	3.03	2.61	2.31
	ITHD[%]	12.63	17.40	17.23
피상전력[kVA]		40.44	34.70	30.92
역률[%]		91	90	90

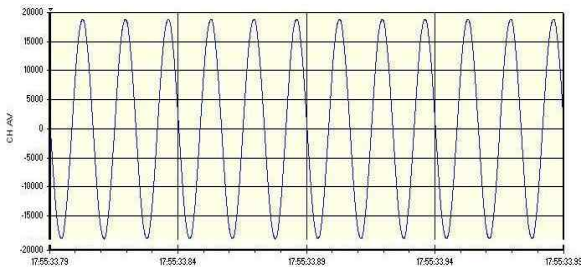


그림 8. 측정된 순시치 전압파형(A상)  
Fig. 8. Measured voltage waveform(Phase A)

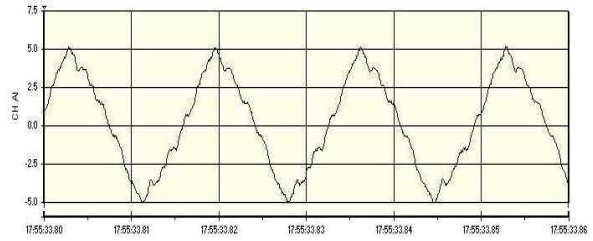


그림 9. 측정된 고조파 전류파형(A상)  
Fig. 9. Measured harmonic current waveform(Phase A)

표 4. 측정된 전압 왜형률  
Table 4. Measured Harmonic Voltage

Harmonic Order	A상		B상		C상	
	THD [%]	Phase [°]	THD [%]	Phase [°]	THD [%]	Phase [°]
1	100	269.91	100	29.34	100	149.03
2	0.028	346.48	0.028	137.28	0.016	258.11
3	0.147	122.16	0.259	149.22	0.088	170.41
4	0.025	344.45	0.019	249.38	0.013	153.22
5	0.253	49.16	0.253	310.01	0.369	168.14
6	0.013	289.26	0.013	248.23	0.034	264.86
7	0.216	165.84	0.206	264.8	0.256	46.29
8	0.006	184.55	0.003	176.59	0.025	322.94
9	0.259	48.01	0.216	45.18	0.309	59.71
10	0.013	108.41	0.025	284.5	0.006	159.54
11	0.141	285.41	0.131	178.76	0.222	49.76
12	0.013	17.07	0.003	282.18	0.019	321.56
13	0.103	198	0.059	13.96	0.072	103.18
14	0.006	324.14	0.003	284.61	0.003	267.5
15	0.091	30.03	0.072	355.45	0.041	30.66
16	0.006	224.45	0.016	5.94	0.003	95.08
17	0.028	230.24	0.041	70.89	0.019	33.75
18	0.003	60.3	0.003	63.51	0.003	1.45
19	0.003	215.8	0.059	160.4	0.075	1.1
20	0	190.24	0	78.56	0	355.45
~						
40	0	52.65	0	72.67	0	356.91
THD(%)	0.497	0.70	0.516	0.61	0.616	0.69

표 5. 측정된 전류 왜형률  
Table 5. Measured harmonic current

Harmonic Order	A상		B상		C상		N상	
	THD [%]	Phase [°]	THD [%]	Phase [°]	THD [%]	Phase [°]	THD [%]	Phase [°]
1	100	281.73	100	38.16	100	170.84	100	107.7
2	0.684	223.64	0.731	74.98	1.253	226.3	3.042	30.31
3	10.119	81.08	14.863	31.69	12.55	70.13	85.793	237.36
4	0.188	164.83	0.484	183.74	0.616	218.49	2.905	14.16
5	2.519	235.74	4.359	113.41	7.125	359.73	8.328	209.21
6	0.847	178.45	0.919	176.19	0.959	166.79	6.455	352.24
7	1.909	47.13	0.825	82.74	0.725	269.76	5.985	223.54
8	0.503	229.53	0.313	129.44	0.234	9.75	1.01	22.01
9	5.947	321.06	6.919	320.93	8.363	314.89	51.928	134.94
10	0.294	242.48	0.444	43.41	0.394	141.43	0.406	299.85
11	0.478	94.08	0.981	18.64	1.713	263.07	2.597	133.4
12	0.272	227.34	0.181	257.11	0.269	231.3	1.81	53.25
13	1.994	23.31	1.788	121.59	1.422	265.36	3.928	217.24
14	0.272	157.65	0.141	45.6	0.453	247.66	0.737	19.35
15	1.134	272.68	1.059	290.88	1.15	287.8	8.204	96.69
16	0.263	316.86	0.159	45.26	0.447	176.53	0.343	71.45
17	0.841	229.31	0.966	100.38	1.488	336.7	1.219	150.14
18	0.119	215.9	0.172	334.15	0.109	18.03	0.479	119.48
19	0.047	205.7	0.703	322.74	0.234	125.69	1.022	131.44
20	0.219	127.18	0.297	356.69	0.269	242.03	0.073	134.44
~								
40	0.016	186.9	0.009	289.95	0.044	284.09	0.086	138.54
THD	12.625	0	17.397	0	17.228	0	101.602	0

4.2.3 전력품질 3초 측정

고조파는 시간에 따라 변하므로 IEC 61000-4-7에 따라 측정시간을 3초로 한다. 고조파 측정장비는 PNA600이 사용되었다. PNA600은 12사이클 측정에 36사이클 간격, 즉 0.8초에 한 번씩 측정한다. 편의상 A상만 그림으로 나타내었다.



그림 10. 측정장비(Dewetron PNA600)  
Fig. 10. Measuring equipment(Dewetron PNA600)

표 6. PNA600 측정데이터  
Table 6. Measured data by PNA600

		A상	B상	C상
전압	최대상전압[V]	13270.1	13212.6	13296.5
	평균상전압[V]	13174.1	13122.3	13203.4
	최소상전압[V]	13086.3	13035.6	13117.0
	VTHD[%]	0.62	0.64	0.71
전류	Irms[A]	8.00	7.80	7.70
	ITHD[%]	14.20	15.55	13.30
	ITDD[%]	3.58	3.81	3.25
피상전력[kVA]		106.6	103.1	103.5
역률[%]		0.99	0.99	0.99
플리커	Pst	0.1446	0.1428	0.1418
	Plt	0.1502	0.1481	0.1473

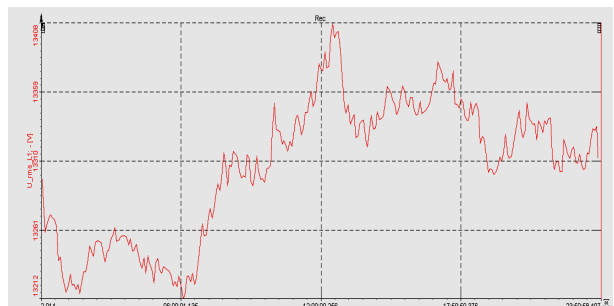


그림 11. 측정된 전압파형(A상)  
Fig. 11. Measured voltage waveform(Phase A)

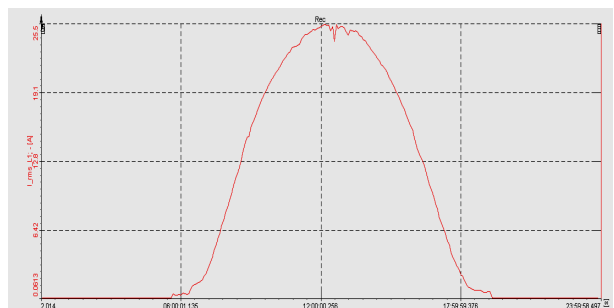


그림 12. 측정된 전류파형(A상)  
Fig. 12. Measured current waveform(Phase A)

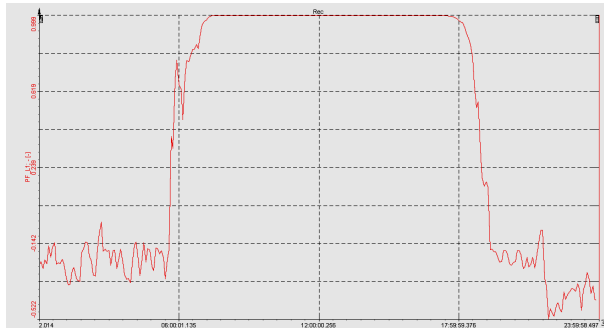


그림 13. 측정된 역율파형  
Fig. 13. Measured power factor waveform (Phase A)

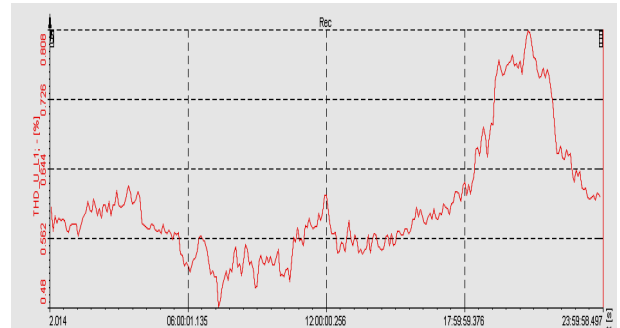


그림 14. 측정된 전압 THD 파형(A상)  
Fig. 14. Measured harmonic voltage waveform (Phase A)

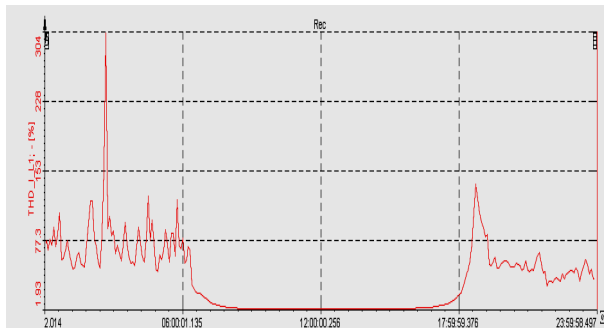


그림 15. 측정된 전류 THD 파형(A상)  
Fig. 15. Measured harmonic current waveform (Phase A)

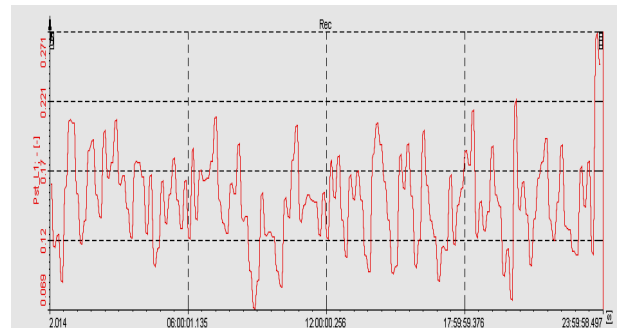


그림 16. 측정된 Pst 파형(A상)  
Fig. 16. Measured Pst waveform (Phase A)

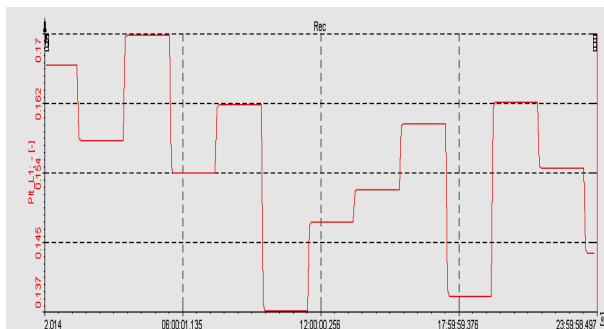


그림 17. 측정된 Plt 파형(A상)  
Fig. 17. Measured Plt waveform(Phase A)

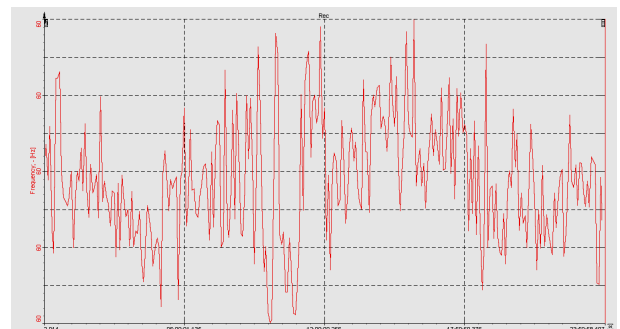


그림 18. 측정된 주파수(A상)  
Fig. 18. Measured Frequency(Phase A)

그림 15는 고조파 전류 THD로 분석 및 평가시에는 고조파 전류 TDD로 변환시켜야 신뢰성 있는 데이터가 된다.

태양광시스템이 발전되는 동안에 고조파 전류 함유율을 요약하면 표 7과 같다.

표 7은 PNA600장비로 시간에 따라 변하는 고조파를 평가하기 위해서 차수별로 50[%] 누적확률값(CP, Cumulative Probability)을 사용한다. 50[%] 누적확률값은 평균치를 나타내는 수치이다.

표 7. 전류고조파 CP 50[%]  
Table 7. Harmonic current CP 50[%]

차수	전류고조파 CP50[%](THD)			전류고조파 CP50[%](TDD)		
	A상	B상	C상	A상	B상	C상
1	100	100	100	100	100	100
2	1.858	0.979	1.902	0.469	0.240	0.465
3	10.863	13.061	8.936	2.742	3.202	2.185
4	1.216	0.628	0.701	0.307	0.154	0.171
5	4.505	4.507	5.556	1.137	1.105	1.359
6	0.876	0.848	0.825	0.221	0.208	0.202
7	2.679	1.645	1.697	0.676	0.403	0.415
8	0.722	0.661	0.695	0.182	0.162	0.170
9	6.751	6.468	7.256	1.704	1.586	1.774
10	0.655	0.614	0.586	0.165	0.151	0.143
11	1.029	1.159	1.553	0.260	0.284	0.380
12	0.455	0.405	0.405	0.115	0.099	0.099
13	0.831	0.748	0.974	0.210	0.183	0.238
14	0.451	0.386	0.399	0.114	0.095	0.098
15	0.813	0.635	0.706	0.205	0.156	0.173
16	0.401	0.351	0.376	0.101	0.086	0.092
17	0.673	0.563	0.576	0.170	0.138	0.141
18	0.383	0.288	0.311	0.097	0.071	0.076
19	0.526	0.484	0.519	0.133	0.119	0.127
20	0.410	0.329	0.347	0.104	0.081	0.085
~						
40	0	0	0	0	0	0
THD/ TDD [%]	14.203	15.551	13.304	3.585	3.812	3.254

4.2.4 전력품질 10분 측정(PQM)

10분 측정용으로 PQM 장비가 사용되었고 PQM장비는 매 6초마다 6사이클을 측정하여 10분에 100개의 데이터 중에서 최소, 평균, 최대 등 대표값을 저장하며 1사이클에 128샘플링을 한다.



그림 19. 측정장비(PQM)  
Fig. 19. Measuring equipment(PQM)

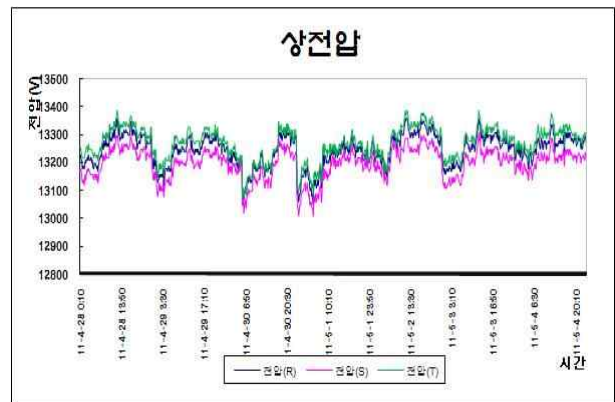


그림 20. 측정된 전압시간 경향(A상)  
Fig. 20. Measured voltage time trend (Phase A)

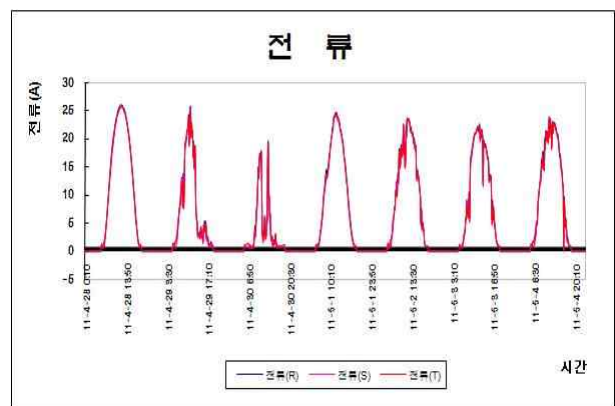


그림 21. 측정된 전류시간 경향(A상)  
Fig. 21. Measured current time trend (Phase A)

고조파는 시간에 따라 변하므로 국제기준에서는 고조파 측정을 최소 일주일을 권장하고 있다. 고조파가



시간에 따라 매우 빠르게 변하는 경우의 측정은 전기설비의 순간 영향이나 오동작을 일으키는 원인을 파악하는데 쓰이고, 고조파가 시간에 따라 다소 느리게 변하는 경우의 측정은 전기설비의 장기간 영향이나 소손 및 수명감소의 원인을 추정하는데 쓰일 수 있다. 고조파 수준을 파악하기 위하여 PQM 장비를 설치하여 일주일간 측정된 데이터를 정리하였다. 그림 19는 일주일동안의 전압의 시간경향을 나타내었고 그림 20은 전류의 시간경향을 나타내었다.

표 8. PQM 측정데이터  
Table 8. Measured data by PQM

		A상	B상	C상
전압	Vrms[V]	13245.8	13199.1	13271.5
	VTHD[%]	0.74	0.75	0.81
전류	Irms[A]	6.18	6.01	5.98
	ITHD[%]	12.16	13.14	11.3
피상전력[kVA]		82.050	79.537	79.543
역률[%]		0.99	1	1

### 5. 분석 및 평가

태양광 발전설비의 고조파 전류 TDD는 전력계통과 연계되어 가동중일 때 규정( $h < 11$ : 4[%],  $11 \leq h < 17$ : 2[%],  $17 \leq h < 23$ : 1.5[%],  $23 \leq h < 35$ : 0.6[%],  $35 \leq h < 40$ : 0.3[%], 짝수고조파는 각 구간별의 25[%])에 의한 차수별 개별 고조파 전류는 기준을 초과하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

플리커 측정요소인 Pst는 가동중일 때와 정지 상태일 때 0.1418~0.1554로 측정되어 국내의 분산전원의 계통연계 기술기준인  $Pst \leq 0.35$ (단시간 10분)을 초과하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

플리커 측정요소인 Plt도 가동중일 때와 정지상태일 때 0.1481~0.1603으로 측정되어 분산전원의 계통연계 기술기준인  $Plt \leq 0.25$ (장시간 2시간)을 초과하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

표 9. 측정된 고조파전류 외형률 평가  
Table 9. Measured harmonic current assessment

차수	기준	A	B	C
1	100	100	100	100
2	1	0.469	0.240	0.465
3	4.0	2.742	3.202	2.185
4	1	0.307	0.154	0.171
5	4.0	1.137	1.105	1.359
6	1	0.221	0.208	0.202
7	4.0	0.676	0.403	0.415
8	1	0.182	0.162	0.170
9	4.0	1.704	1.586	1.774
10	1	0.165	0.151	0.143
11	2.0	0.260	0.284	0.380
12	0.5	0.115	0.099	0.099
13	2.0	0.210	0.183	0.238
14	0.5	0.114	0.095	0.098
15	2.0	0.205	0.156	0.173
16	0.5	0.101	0.086	0.092
17	1.5	0.170	0.138	0.141
18	0.375	0.097	0.071	0.076
19	1.5	0.133	0.119	0.127
20	0.375	0.104	0.081	0.085
~				
40	0.075	0	0	0
TDD[%]	5[%]	3.585	3.812	3.254

표 10. Pst 평가  
Table 10. Pst assessment

ON				OFF			
Pst	최대	평균	최소	Pst	최대	평균	최소
A	0.2129	0.1446	0.0696	A	0.2679	0.1530	0.0767
B	0.2173	0.1428	0.0692	B	0.2897	0.1554	0.0824
C	0.2141	0.1418	0.0653	C	0.2435	0.1536	0.0879

표 11. Plt 평가  
Table 11. Plt assessment

ON				OFF			
Plt	최대	평균	최소	Plt	최대	평균	최소
A	0.1617	0.1502	0.1369	A	0.1704	0.1603	0.1387
B	0.1586	0.1481	0.1385	B	0.1868	0.1656	0.1382
C	0.1697	0.1473	0.1328	C	0.1719	0.1592	0.1355

표 12. 평가 결과  
Table 12. Assessment results

No.	Item	기준	상	순시치	3초 측정
1	고조파 전류	10분평균 40차까지 5[%]이하	A	1.23	3.59
			B	1.42	3.81
			C	1.24	3.25
2	플리커	Pst ≤ 0.35	A		0.145
			B		0.143
			C		0.142
3	플리커	Plt ≤ 0.25	A		0.150
			B		0.148
			C		0.147
4	주파수	60 ± 0.2 (59.8 ~ 60.2)	59.8	59.96	59.97
			60.2	60.08	60.03
5	전압 변동	10분평균 2[%]이하 순시전압 변동 2[%]	A	1.35	0.99
			B	1.01	1.00
			C	1.62	1.01
6	역률	90[%]이상 유지	A	0.97	0.99
			B	0.96	0.99
			C	0.88	0.99
7	직류 전류	정격전류의 0.5[%]미만	A	0	0
			B	0	0
			C	0	0

태양광 발전설비의 주파수는 전력계통과 연계되어 가동중일 때 59.97~60.03[Hz]로서 전기사업법 제18조에 의한 표준주파수 및 허용오차 60 ± 0.2[Hz]를 초과하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

태양광 발전설비가 가동중일 때 분산전원 계통연계 기준인 10분 평균 2[%]이하, 순시전압변동 2[%]이하로서 A상 기준으로 최소 13086.1[V] 최대 13270.1[V]가 측정되어 이것은 0.991~1.005[%]으로 양호한 상태를 나타냈다. B상은 0.988~1.001[%], C상은 0.994~

1.007[%]로서 양호한 상태를 보였다.

태양광 발전설비의 역률은 전력계통과 연계되어 가동 중일 때 0.99로서 국내 전력회사의 전기공급 기본약관 등에 규정된 기준역률 90[%] 이상을 유지하여 양호한 상태를 보였다.

분산전원의 계통연계기술기준에서 분산형 전원발전설비는 전력계통 연계지점에서 발전기용량 정격최대전류의 0.5[%] 이상의 직류전류를 전력계통으로 유입하여서는 안 된다고 규정하고 있으며, 태양광 발전설비가 가동중일 때 직류전류는 0[A]로서 양호한 상태를 나타냈다.

종합적으로 사례연구 태양광발전 배전계통연계 기술기준과 평가결과를 요약하면 표 12와 같다.

## 6. 결론

본 논문은 국내 신재생에너지 보급사업의 일환으로 보급이 확대되고 있는 연계형 분산 전원중에서 현재 배전계통에 연계되어 상업 운전중인 태양광 발전설비가 전력계통의 전원 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 일사량과 온도의 기상조건에 따른 태양전지 모듈의 등가회로 모델을 모델링하였고, 이를 바탕으로 제작사의 태양광 모듈을 시뮬레이션하여 그 값을 비교 분석하여 신뢰성을 확인하였고, 태양광 발전설비가 전력계통과 연계되어 전원품질에 어떠한 영향을 미치는지 순시치, 3초측정, 10분측정으로 7일동안 측정하여 50[%] 누적확률로 분석하였다. 분산전원의 확대보급에 따라 전원품질 저하문제가 증가될 것으로 사료되며, 사례연구 태양광 발전소는 분산형 전원 배전계통연계 기술기준에 의하여 평가해 본 결과 문제가 없는 것으로 파악되었다. 향후 신재생에너지가 증가하고 고조파가 많이 발생하게 되면 우리나라도 외국과 같은 고조파 규제에 대한 것을 고려해야 한다고 사료된다.

## References

- [1] 에너지관리공단 신재생에너지센터 “신재생에너지 RD&D 전략 2030 태양광” 2008.
- [2] N. Srisaen and A. Sangswang “Effects of PV Grid-

Connected System Location on a Distribution system” APCCAS 2006.

- [3] Granfranceo Chicco, Roberto Napoli and Filippo Spertino, “Experimental Evaluation of the Performance of Grid-Connected Photovoltaic Systems” IEEE MELECON 2004.
- [4] 김재연, “분산형전원이 도입된 배전계통의 운용에 관한 연구” ETIS 1995.12.
- [5] 분산형 전원 배전계통연계 기술기준, 한국전력공사 배전처, 2007.4.
- [6] IEC 61000-4-7, “General Guide on Harmonics and Inter-harmonics Measurement and instrumentation for Power Supply Systems”, 1991.
- [7] BMI-PX5, “Basic Measuring Instrument PowerXploer”, Dranetz Co, 2004.
- [8] PQM Manual, “Power Quality Monitoring System”, Micropower Co., 2006.
- [9] IEEE Std 519-1992, “IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems”..
- [10] 산업자원부 기술표준원, “저압 전기기기의 고조파 영향 평가 및 방출 한계기준에 관한 연구”, 중간보고서, 2006.

◇ 저자소개 ◇



**최형범**(崔炯範)

1970년 8월 6일생. 1999년 홍익대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007~2009년 선파워에너지시스템 CM. 2007년~현재 홍익대학교 전기공학과 박사과정.



**김경철**(金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소 연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 졸업(석사). 1984~1988년 UTA 전기공학과 졸업(박사). 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.



**황영복**(黃永祿)

1964년 2월 23일생. 1991년 인천대학교 전기공학과 졸업. 1991~1995년 한전 영광원자력본부 QA. 1995~2000년 한국전기안전공사 기술부. 2000~2006년 서울유일엔지니어링 진단부. 현재 (주)한국전기기술 대표이사. 건축전기설비기술사.