

# 전력계통 연계형 태양광 발전시스템의 고조파 및 플리커의 측정 및 분석에 관한 연구

(A Study on the Harmonics and Flicker Measurements and Analysis of the Grid Connected Photovoltaic Power System)

김경철\* · 김용관\*\*

(Kyung-Chul Kim · Yong-Kwan Kim)

## Abstract

This paper analyzes the characteristic of grid connected photovoltaic power generation system which is available to connect the utility. Renewable energy photovoltaic power system has been linked to the system to analyze the impact of photovoltaic system. It is measured that power data for the Grid connected photovoltaic power plant with instantaneous measuring and 3-sec measuring for 7 days. Harmonic field measurements 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, K-Factor

## 1. 서 론

전 세계적으로 대체에너지로서 신재생에너지 시장이 급속하게 성장하고 있다. 현재 시점에서 일정수준의 전원품질을 유지하면서 개발된 대체에너지 전원이 기존의 배전계통에 도입 보급해 나아갈 수 있는 기술

의 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]. 수용기는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전력시스템의 전력품질이 일정수준 이상 유지되어야 하고, 전력회사는 공통 결합점에서의 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 유지시켜야 한다[4]. 본 논문에서는 측정된 고조파를 분산형 전원 배전계통연계 기술기준에 의해 평가 및 분석하고자 한다[5].

\* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수  
\*\* 교신저자 : 홍익대학교 전기공학과 석사과정  
Tel : 010-4317-1231, Fax : 041-863-7605  
E-mail : kyk6269@hanmail.net  
접수일자 : 2012년 3월 2일  
1차심사 : 2012년 3월 6일  
심사완료 : 2012년 4월 4일

## 2. 고조파 측정

### 2.1 사례연구시스템

그림 1은 사례 연구 시스템의 단선도이다. 변전소는 공급전압이 22.9[kV], 단락용량이 300[MVA], 단락임피던스는 100[MVA] 기준으로  $0.144+j36.357[\%]$ 이다. 배전선로는 정상임피던스가  $1.4325[\Omega]$ 이고, 영상임피던스가  $4.4678[\Omega]$ 이다. 태양광 발전소는 170[W] 단결정 실리콘태양전지모듈을 17 직렬과 16~17 병렬로 구성된 어레이로 총 발전용량은 1.2[MW]이고 케이블 TR CNCV 325[mm]로 지중으로 650[m] 포설 후 선방선로에 연결되어 있으며, Utility Bus에는 풍력발전소 1.3[MW]를 포함하여 기타 부하가 연결되어 있다.

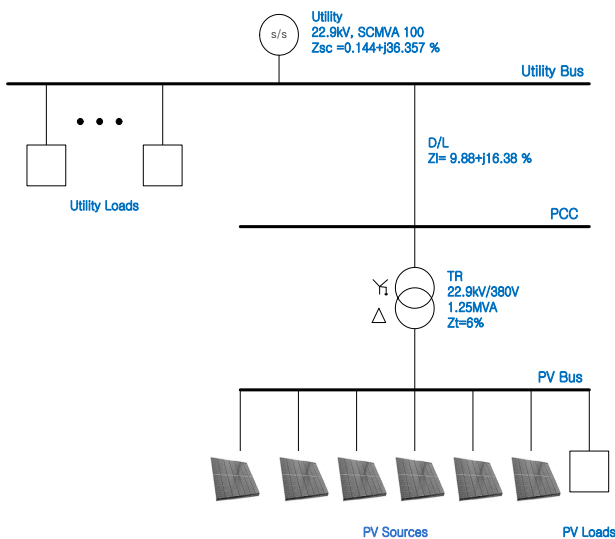


그림 1. 사례연구 시스템  
Fig. 1. PV system under case study

### 2.2 고조파 측정장비

고조파 측정장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5, 3초측정용으로 PNA600이 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.

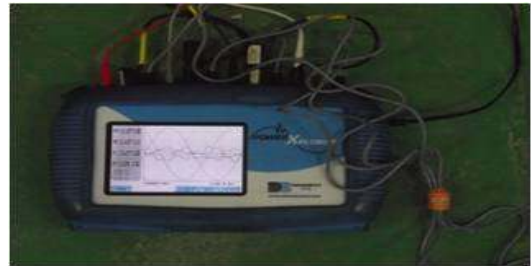


그림 2. 측정장비(BMI-PX5)  
Fig. 2. Measuring equipment(BMI-PX5)

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.



그림 3. 측정장비(Dewetron PNA600)  
Fig. 3. Measuring equipment(Dewetron PNA600)

### 2.3 순시치 측정

BMI-PX5 장비로 측정된 데이터를 요약하면 표 1과 같다. 그림 4와 그림 5는 측정된 전압과 전류 파형이다. 편의상 A상만 나타내었고, 측정점은 PCC(Point of Common Coupling)이다.

표 1. PX5 측정 데이터  
Table 1. 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

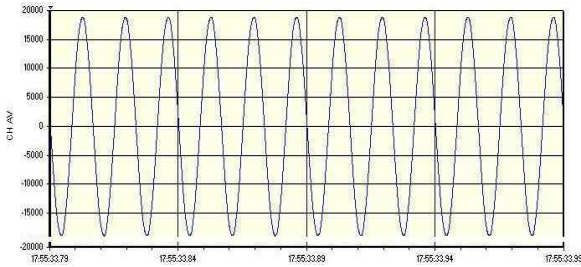


그림 4. 측정된 순시치 전압파형(A상)  
Fig. 4. Measured voltage waveform(Phase A)



그림 5. 측정된 고조파 전류파형(A상)  
Fig. 5. Measured harmonic current waveform (Phase A)

표 2는 측정된 전압 왜형률을 나타내고 표 3은 측정된 전류 왜형률을 40차까지 나타내고 있다.

표 2. 측정된 전압 왜형률  
Table 2. 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 3. 측정된 전류 왜형률  
Table 3. 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

## 2.4 3초 측정

Dewetron PNA600으로 측정된 데이터를 표 4에서 상전압, 전류, 피상전력, 역률, 플리커 등의 측정값을 요약하였다. 파형으로서 그림 6은 측정된 전압파형,



그림 6. 측정된 전압파형(A상)  
Fig. 6. Measured voltage waveform(Phase A)

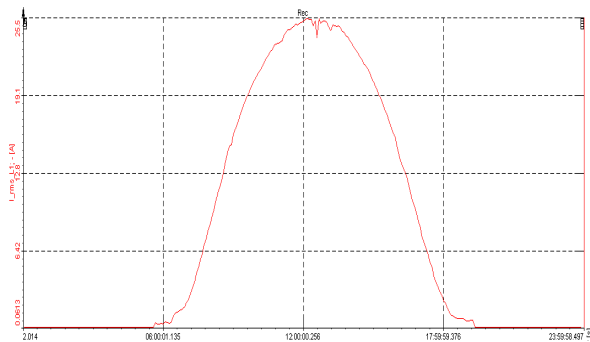


그림 7. 측정된 전류파형(A상)  
Fig. 7. Measured current waveform(Phase A)



그림 8. 측정된 전압 THD 파형(A상)  
Fig. 8. Measured harmonic voltage waveform (Phase A)

그림 7은 측정된 전류파형, 그림 8은 측정된 전압 THD 파형, 그림 9은 측정된 전류 THD 파형, 그림 10은 측정된 Pst파형, 그림 11는 측정된 Plt파형을 나타내었다.

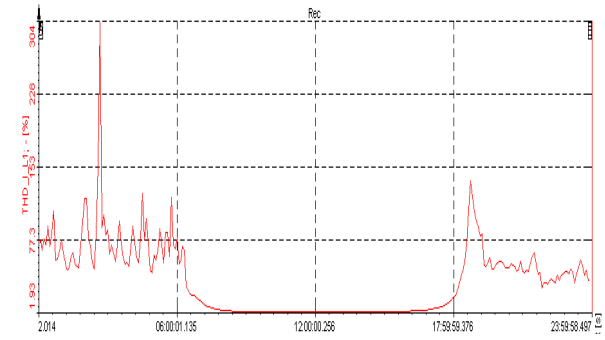


그림 9. 측정된 전류 THD 파형(A상)  
Fig. 9. Measured harmonic current waveform (Phase A)

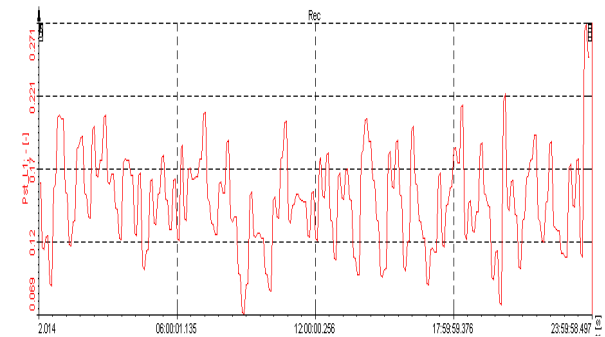


그림 10. 측정된 Pst 파형(A상)  
Fig. 10. Measured Pst waveform(Phase A)

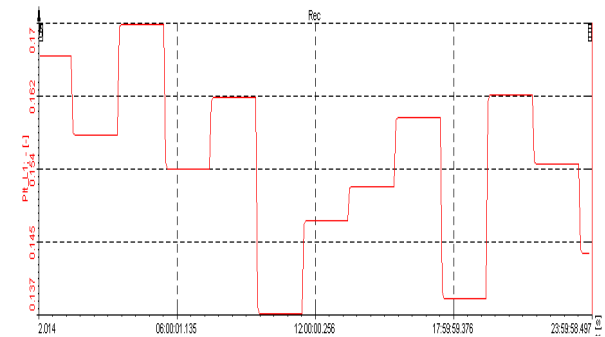


그림 11. 측정된 Plt 파형(A상)  
Fig. 11. Measured Plt waveform(Phase A)

표 4. PNA600 측정데이터  
Table 4. 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

고조파 전류 THD로 분석 및 평가시에는 고조파 전류 TDD로 변환시켜야 신뢰성 있는 데이터가 된다. 태양광시스템이 발전되는 동안에 고조파 전류 함유율을 요약하면 표 5와 같다.

표 5는 PNA600장비로 시간에 따라 변하는 고조파를 평가하기 위해서 차수별로 50[%] 누적확률값(CP, Cumulative Probability)을 사용한다. 50[%] 누적확률값은 평균치를 나타내는 수치이다.

### 3. 고조파 평가

#### 3.1 계통 연계 기준

##### 3.1.1 국내 전력계통 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) 고조파 전류

분산형 전원발전설비로부터 계통에 유입되는 고조파 전류는 10분 평균한 40차까지의 종합 전류왜

형률이 5[%]를 초과하지 않도록 각 차수별로 제어하여야 한다. 발전설비를 제외한 국부 연계계통의 1년 중 15분 최대 부하전류, 또는 (발전설비와 계통 연계점 사이에 변압기가 있을 경우 이 변압기를 통과하는) 발전설비 정격 전류용량 중 큰 값에 대한 고조파 전류의 비율이 표 6에서 규정범위 이하이어야 한다.

표 5. 전류고조파 CP 50[%]  
Table 5. 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

표 6. 고조파 전류 규정범위  
Table 6. Harmonic current limit

고조파 차수	기준	짝수
$h < 11$	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

**b) 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.

3.1.2 국외 전력계통 연계 기준

IEEE(Std 1547-2003,2008 & 929-2000)[6]에 의한 계통연계 규정 분산전원의 전력품질 평가기준을 요약한다.

**a) 고조파**

분산전원은 전력변환기를 적용하므로 파형이 왜곡되어 고조파를 발생한다. PCC에서 고조파 전류 주입이 표 7을 초과하지 못하도록 규정하고 있다.

표 7. 최대 고조파 전류 왜곡률  
Table 7. Maximum harmonic current distortion

고조파 차수	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
백분율[%]	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

여기서 전류는 최대부하전류(15분 혹은 30분)와 분산전원의 정격전류 중 큰 값을 기준으로 한다. 짝수 고조파는 각 구간 고조파 허용치의 25[%]이하로 제한한다.

**b) 플리커**

분산전원으로 인하여 다른 수용가에서 인지할 만한

플리커를 발생하면 안 된다. PCC에서 플리커 규제는 식 (1), (2)와 같다.

$$P_{st} \leq 0.35 \text{ (단시간)} \tag{1}$$

$$P_{lt} \leq 0.25 \text{ (장시간)} \tag{2}$$

**3.2 고조파 및 플리커 평가**

고조파 평가의 원칙은 전력회사와 수용가의 역할과 책임을 분담하는데 있다. 본 논문에서는 시간에 따라 변하는 고조파를 국내기준과 국제기준인 IEC 1547-2003, 2008 과 IEEE Std 929-2000에 적용하기로 한다.

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.

표 8은 3초 측정값의 50[%] 누적확률값으로 고조파 전류평가를 간추려 놓은 것이다. 고조파 전류평가는 분산형전원 배전계통 연계 기술기준을 적용한다. 고조파전류 평가 결과는 각 차수마다 기준값 이하로서 양호한 결과를 나타내었고, 각 상마다 5[%]를 초과하지 않았다.

플리커는 시간에 따라 변하는 특성을 가지고 있다. 시간에 따라 변하는 플리커를 평가하기 위해서는 누적확률을 사용한다. 95[%] 누적확률은 중압(1[kV] <Medium Voltage ≤ 35[kV])에서의 적합성 레벨(Compatibility level)에서 쓰이고, 99[%] 누적확률은 고압(35[kV] <High Voltage ≤ 350[kV])에 대한 Pst 및 Plt 한계값을 규정하는데 사용된다.

평가지 측정은 최소 1주일 이상을 IEC에서는 권장하고 있으나 본 논문에서는 24시간 동안만 측정하였다. 플리커 평가 결과는 분산형 전원 배전계통 연계 기술기준의 기준값 이하였다.

플리커 측정요소인 Pst는 가동중일 때 0.0690~0.2137로 측정되어 국내의 분산전원의 계통연계 기술

기준인  $P_{st} \leq 0.35$ (단시간 10분)을 초과하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

플리커 측정요소인  $P_{lt}$ 도 가동중일 때 0.1369~0.1617으로 측정되어 분산전원의 계통연계기술기준인  $P_{lt} \leq 0.25$ (장시간 2시간)을 초과 하지 않으며 양호한 상태를 나타냈다.

표 8. 측정된 고조파전류 왜형을 평가  
Table 8. Measured harmonic current assessment

전류고조파 CP 50[%] (TDD)				
차수	기준	A상	B상	C상
1	100	100	100	100
2	1	0.469	0.521	0.565
3	4	2.742	3.003	2.277
4	1	0.307	0.349	0.331
5	4	1.137	1.338	1.237
6	1	0.221	0.280	0.304
7	4	0.676	0.527	0.454
8	1	0.182	0.272	0.261
9	4	1.704	1.411	1.529
10	1	0.165	0.249	0.249
11	2	0.260	0.372	0.389
12	0.5	0.115	0.185	0.198
13	2	0.210	0.262	0.300
14	0.5	0.114	0.189	0.197
15	2	0.205	0.239	0.264
16	0.5	0.101	0.173	0.190
17	1.5	0.170	0.244	0.245
18	0.38	0.097	0.192	0.212
19	1.5	0.133	0.209	0.223
20	0.375	0.104	0.178	0.193
~				
40	0.075	0	0	0
TDD	5	3.585	3.772	3.245

종합적으로 사례연구 태양광발전을 배전계통연계 기술기준과 평가결과를 요약하면 표 9와 같다.

표 9. 평가 결과  
Table 9. Assessment results

Item	기준	상	순시치	3초 측정
고조파 전류	10분평균 40차까지 5[%]이하	A	1.23	3.59
		B	1.42	3.77
		C	1.24	3.25
플리커	$P_{st} \leq 0.35$	A		0.145
		B		0.143
		C		0.142
	$P_{lt} \leq 0.25$	A		0.150
		B		0.148
		C		0.147

#### 4. 고조파 시뮬레이션

##### 4.1 동조필터 적용

그림 12는 고조파 저감기법으로 상용되고 있는 동조 필터의 구성을 보여주고 있다.

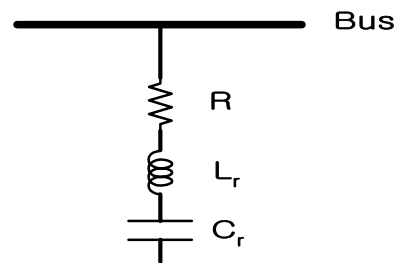


그림 12. 동조필터  
Fig. 12. Tuned filter

동조필터는 리액터( $L_r$ )와 콘덴서( $C_r$ )가 직렬로 연결되어 있다. 동조 필터의 설계값은 부하에 따라 정해진다. 즉 제거하고자 하는 고조파 차수(h)에서 동조가 일어나도록 하면 된다.

$$h = \frac{1}{\omega_0 \sqrt{L_r C_r}} \quad (3)$$

여기서  $\omega_0$ 는 시스템 각주파수로 377[rad/s]이다.

부하의 주파수가 동조 주파수와 일치하면 동조 필터의 임피던스는 저항(R)이 작을 경우 거의 영이 된다. 따라서 동조 주파수의 전류는 동조 필터로 유입(sink) 되는 원리이다.

고조파 전류 평가 결과로 보면 제 2, 3, 4, 5 차 고조파가 함유율이 높으므로 제 2, 3, 4, 5차 동조 필터를 설계하여 설치 전, 후의 고조파 평가를 하기로 한다.

제 5차 동조 필터의 제원(6-pulse Inverter)은, 먼저 저항 R=1.0[Ω], 인덕턴스 X<sub>L</sub>=100[Ω]로 정하고 커패시턴스(XC)를 구하면 식 (4)와 같다.

$$X_{C5} = h^2 \times X_L = 5^2 \times 100 = 2500[\Omega] \quad (4)$$

용량 S = 218 [kVA]

동조 필터의 적용은 고조파 해석 프로그램인 EDSA를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 그림 13은 제 5차 동조 필터의 임피던스 응답 곡선이다.

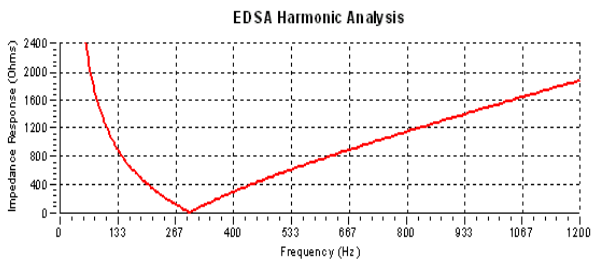


그림 13. 동조필터 임피던스 응답  
Fig. 13. Impedance response of tuned filter

표 10은 동조필터 설치 전후의 전류왜형률을 요약 정리하였고 EDSA 시뮬레이션은 실측치와 유사한 값으로 모의하여 동조필터를 적용하면 12.63[%]에서 3.24[%]로 많이 감소되었다.

표 10. 필터설치전 · 후의 고조파 전류 비교(태양광 선로)

Table 10. Harmonic current assessment

	without the filter	with the filter
IA, THD[%]	12.63	3.24
IB, THD[%]	17.40	3.16
IC, THD[%]	17.23	3.59

표 11은 동조필터 설치 전후의 전압 왜형률을 요약 정리하였고 EDSA 시뮬레이션은 실측치와 유사한 값으로 모의하여 동조필터를 적용하면 0.497[%]에서 0.289[%]로 많이 감소되었다.

고조파 해석 프로그램을 사용하여 동조필터를 5차 필터로 설치하고 시뮬레이션 하였으며, 고조파 저감 효과를 확인하였고 기준에 만족하는 결과로 도출이 되었다.

표 11. 필터설치전 · 후의 고조파 전압 비교(태양광 선로)

Table 11. Harmonic voltage assessment

	without the filter	with the filter
VA, THD[%]	0.497	0.289
VB, THD[%]	0.516	0.273
VC, THD[%]	0.616	0.311

## 4.2 K-factor 및 출력감소계수 계산

고조파는 변압기의 손실을 증가시켜 변압기 용량을 감소시키는 결과를 초래한다. 7일 측정기간 중에 최대 전력을 요약하면 아래 표 12와 같다.

표 12. 최대발전전력

Table 12. Maximum generated power

	A상	B상	C상	3상
피상전력 [kVA]	344.750	336.783	340.170	1021.702
유효전력 [kW]	344.069	336.288	339.863	1020.220
무효전력 [kVAR]	21.491	17.966	13.702	54.163

동조필터 설치 전후의 K-factor를 요약하면 표 13과 같다.



표 13. 필터설치 전·후의 K-factor 계산 결과  
Table 13. K-factor calculation results

	A상	B상	C상	평균
w/o the filter	1.693	1.990	2.214	1.966
with the filter	1.207	1.203	1.316	1.242

PV ON시 최대전력은 식 (5)이고, 주변압기의 정격은  $S_n = 1,250[kVA]$ 이므로 변압기 여유률  $\eta_m$ 은 식 (6)과 같다.

$$S_{max} = 1020.2 + j54.2[kVA] \quad (5)$$

$$\eta_m = \frac{1,250 - 1,021.7}{1,250} \times 100 = 18.26[\%] \quad (6)$$

고조파 내력을 나타내는 필터 설치전의 K-factor를 구하면 식 (7)과 같다.

$$KF = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} k^2 I_k^2}{\sum_{k=1}^{\infty} I_k^2} = 1.97 \quad (7)$$

변압기의 와류손은 실험결과로 구할 수 있으나, 편의상 참고문헌[7]에서 제시한 변압기 정격과 와류손의 관계 그래프에서 구하면  $P_{EC} = 0.1[pu]$ 가 된다.

동조필터 설치전의 변압기 고조파 출력 감소계수를 구하면 식 (8)과 같고 동조필터 설치전의 고조파를 고려한 변압기 용량은 식 (9)와 같고, 동조필터 설치전의 고조파를 고려한 변압기 여유률(THDF: Transformer Harmonic Derating Factor)은 식 (10)과 같다. 즉, 고조파를 고려하면 주 변압기의 여유률은 18.26[%]에서 14.14[%]로 낮아지게 된다.

$$THDF = \sqrt{\frac{1+0.1}{1+1.97 \times 0.1}} \times 100 = 95.88[\%] \quad (8)$$

$$S_n = 1,250 \times 0.9588 = 1198.5[kVA] \quad (9)$$

$$\eta_m = \frac{1198.5 - 1021.7}{1,250} \times 100 = 14.14[\%] \quad (10)$$

동조필터를 적용하면, 변압기 출력을 증가시키게 되어 주변압기 여유률을 높일 수가 있다.

동조필터 적용 시 변압기 고조파 출력감소계수를 구하면 식 (11)과 같고 변압기 용량은 식 (12)와 같고, 동조필터 설치후의 변압기 여유률은 식 (13)과 같다. 즉 고조파 동조필터 설치로 주 변압기의 여유률은 14.14[%]에서 17.18[%]로 증가되었다.

$$THDF = \sqrt{\frac{1+0.1}{1+1.24 \times 0.1}} \times 100 = 98.92[\%] \quad (11)$$

$$S_n = 1,250 \times 0.9892 = 1,236.5[kVA] \quad (12)$$

$$\eta_m = \frac{1,236.5 - 1,021.7}{1,250} \times 100 = 17.18[\%] \quad (13)$$

## 5. 결 론

본 논문은 배전계통 연계형 분산 전원중에서 현재 배전계통에 연계되어 상업 운전중인 태양광 발전설비가 전력계통의 전원 품질에 미치는 영향을 분석하였다. 태양광 발전설비가 전력계통과 연계되어 전원 품질에 어떠한 영향을 미치는지 7일 동안 순시치, 3초 측정으로 측정하였고, 측정된 데이터를 50[%] 누적확률로 분석, 동조필터 설치전후로 분석하여 고조파저감효과를 확인, K-factor 및 출력감소계산을 통하여 변압기 여유율이 증가되는 것을 분석 및 확인하였다. 분산전원의 확대보급에 따라 전원품질 저하문제가 증가될 것으로 사료되며, 사례연구 태양광 발전소는 분산형 전원 배전계통연계 기술기준과 IEEE Std 1547-2003, 2008 & 929-2000에 의한 계통연계 규정 분산전원의 전력품질 평가기준에 의하여 평가해 본 결과 문제가 없는 것으로 파악되었다. 향후 신재생 에너지가 증가하고 고조파가 많이 발생하게 되면 우리나라도 외국과 같은 고조파 규제에 대한 것을 고려해야 한다고 사료된다.

이 논문은 2012학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

## References

- [1] Renewable Energy Center Energy Management Corporation "The strategy on the Renewable energy RD&D, Solar system 2030" 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] Kim, Jae-Eon, "A Study on the operation of distributed generation system" ETIS 1995.12.
- [5] The technical standard on the distribution grid connected of distribution power system, Korea Electric Power Corporation, 2007.4.
- [6] IEEE Std 1547-2003, 2008 "IEEE Standard for inter-connecting distributed resources with electric power systems",.
- [7] IEEE Std C57.100-1998, "IEEE Recommended Practice for Establishing Transformer Capability when Supplying Nonsinusoidal Load Currents".
- [8] BMI-PX5, "Basic Measuring Instrument PowerXploer", Dranetz Co, 2004.
- [9] PQM Manual, "Power Quality Monitoring System", Micropower Co., 2006.
- [10] IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems"..

## ◇ 저자소개 ◇



### 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.



### 김용관 (金容寬)

1986년 6월 24일생. 2012년 홍익대학교 전기공학과 학사졸업. 2012년~현재 홍익대학교 전기공학과 석사과정.