

계통연계 태양광발전시스템 고조파 영향 검토

이강완*, 정형모*, 이상민*, 유권중**
 (주)대화기술사*, 한국에너지기술연구원**

Harmonic Impact Studies of Grid-Connected Photovoltaic Generation System

Kang-Wan Lee*, Hyong-Mo Jung*, Sang-Min Lee*, Gwon-Jong Yu**
 DAEHWA Engineering & Consultants Co., Ltd*, Korea Institute of Energy Research**

Abstract - 태양광발전 출력은 인버터를 통하여 상업용 전력계통에 연계된다. 소형 태양광발전 전력은 다수의 수용가를 포함하고 있는 기존의 22.9kV 배전선로에 직접 연결되며, 비선형 전력전자소자로 구성된 인버터는 고조파를 발생하게 된다. 본 논문은 태양광발전소 고조파를 실측하여 이를 모델로 연계 전력계통에 미치는 고조파 영향을 전력계통 해석 도구인 소프트웨어로 분석한 것이다.

야 되며, 이를 해석하기 위해 고조파 발생원인 인버터 출력 전류 스펙트럼을 측정하여 고조파 해석 입력 자료로 이용한다. 측정 대상 인버터는 200kW, 450~800VDC, AC 380V, 60Hz 이고 측정 일시는 2009년 5월 14일 13:00이다. <표 1>은 측정된 결과이고 <그림 2>는 이를 그래프로 나타낸 것이다. 이를 고조파 해석 소프트웨어에서 수용할 수 있는 다중주파수전류원(Multiple frequency current source)으로 모의한다.

1. 서 론

화석 에너지 고갈 및 환경오염에 대처할 수 있는 신재생에너지의 전기 생산 부분에서 가장 큰 점유율을 차지하게 될 것으로 전망되는 태양광발전은 태양전지 어레이에서 얻어진 직류전력을 인버터를 통하여 상업용 전력계통에 연계하게 된다. 전력변환 설비인 인버터는 비선형 전력전자소자로 고조파를 발생하고 여기서 발생된 고조파 전력이 연계 전력계통에 흐르게 된다.

전력계통에 고조파가 흐르면 전력기기 및 전력케이블을 열화시키고, 개폐장치 고장을 유발하며, 역률보상 콘덴서 및 리액터 소손 사고와 같은 장애를 일으킨다.

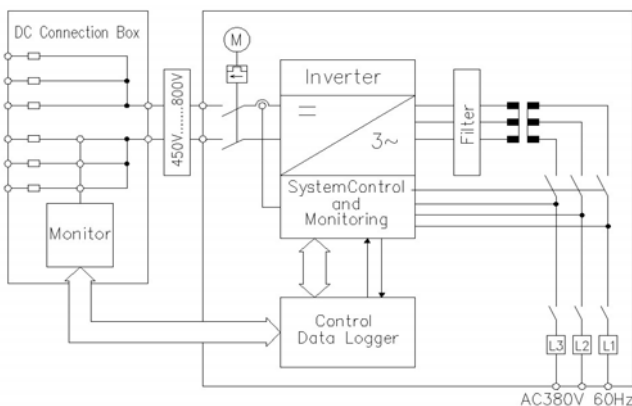
태양광발전 용량이 큰 경우는 154kV 또는 22.9kV 전용선로를 이용하여 전력계통에 연계하게 되지만 비교적 소형인 경우는 기존의 22.9kV 배전선로에 연계하게 된다. 이와 같이 태양광발전이 직접 기존의 배전선로에 연계되는 경우는 태양광발전에서 고조파가 발생하게 되면 배전선로에 연계되어 있는 다른 수용가에게 영향을 미칠 수 있게 될 것이다.

본 연구는 태양광발전소 고조파를 실측하고 이를 모의하여 전력계통에 나타나는 고조파 전류 및 전압을 분석하여 전력계통에 미치는 영향을 검토한 것이다.

2. 본 론

2.1 태양광발전소 인버터

태양광발전소 인버터는 태양전지 어레이에서 생산된 직류전력을 3상 60Hz 상용 교류전력으로 변환하여 상업용 전력계통에 연계할 수 있는 전력전자 설비로 <그림 1>과 같은 구조이다.



<그림 1> 인버터 회로도

여기에 나타난 것과 같이 고조파가 계통에 유입되는 것을 제한하기 위해 Filter와 1대1변압기를 통해 발전된 전력이 출력되도록 구성하였다.

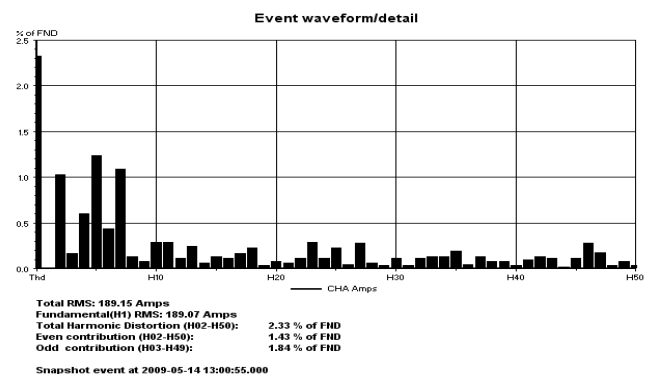
2.2 태양광발전소 고조파 측정

고조파 영향을 분석하기 위해서 전력계통에 흐르는 고조파를 해석해

<표 1> 측정 인버터 출력 전류 스펙트럼

내용	Amps(%FND)	Amps	Phase(Deg)
THD	2.325	-	0.00
FND	0.000	189.070	0.00
H02	1.025	1.938	282.26
H03	0.163	0.308	339.20
H04	0.600	1.134	98.99
H05	1.234	2.333	0.10
H06	0.438	0.828	64.01
H07	1.091	2.063	140.39
H08	0.128	0.242	12.45
H09	0.081	0.153	92.16
⋮	⋮	⋮	⋮
H49	0.081	0.153	153.81
H50	0.031	0.059	216.20

측정 고조파 전류 스펙트럼에 나타난 것은 제2, 제5 및 제7고조파가 상대적으로 크다. 이는 6펄스 인버터에서 제5 및 제7고조파가 상대적으로 크기 때문이다. 측정된 THD는 2.325%로서 일반적인 6펄스 인버터에 비해서 상대적으로 고조파 함유량이 적은데 이는 앞에서 언급된 것과 같이 인버터 내부에 있는 Filter 및 1대1변압기를 거치면서 Sine형태의 전류가 되기 때문인 것으로 판단된다.



<그림 2> 측정 인버터 출력 전류 스펙트럼

2.3 고조파 허용 기준치

오늘날 전력계통에서 적정 전력품질을 유지하도록 고조파 함유율을 제한하고 있다. 고조파 왜곡(Harmonic distortion)을 평가하는 방법에는 2가지가 있다. 첫째, 고조파 전류 유입을 제한하는 것과 둘째, 전력품질을 제한하는 것 즉, 전압의 고조파왜곡율(THD : Total Harmonic Distortion)을 제한하는 것이다. <표 2>는 한국전력에서 적용하고 있는 고조파 허용 기준을 나타낸 것이고 <표 3>은 북미대륙에서 적용되고

있는 IEEE519에 의거한 고조파 허용 기준을 나타낸 것이다.

<표 2> 한국전력 고조파 허용 기준

구분	내용	66kV 이하	154kV 이상
지중선로가 있는 S/S에서 공급하는 수용가	전압왜형을	3%	1.5%
	등가방해 전류	-	3.8A
가공선로만 있는 S/S에서 공급하는 수용가	전압왜형을	3%	1.5%
	등가방해 전류	-	-

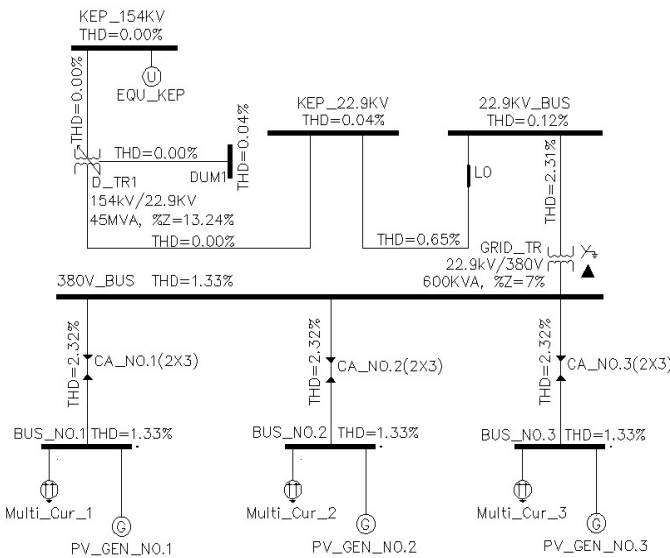
<표 3> IEEE519에서 제시된 고조파 억제 기준 [단위 : %]

전압	개별 전압 왜형을	종합 왜형을 THD
69kV 이하	3.0	5.0
69kV ~ 161kV	1.5	2.5
161kV 이상	1.0	1.5

2.4 고조파 해석

전력계통의 고조파 해석은 전력계통 운전조건하에서 일반 전력 조류 계산과 발생 가능한 조파별 조류계산으로 이루어진다. 따라서 고조파 해석은 대상 전력계통에서 발생 가능한 고조파 범위에 대한 다중해석이다.

<그림 3>은 소프트웨어를 이용한 고조파 해석 결과이다. 대상 태양광 발전은 200kW x3대로 구성되어 380V 모선에 연결되고, 22.9/0.38kV, 600kVA, %Z=7% 승압변압기를 통하여 배전전압인 22.9kV로 승압되는 것으로 가정하였다. 22.9kV 배전선로는 ACSR 160mm², 5km 공장을 가정하였고, 한국전력 배전변압기는 3권선변압기로 154/22.9kV, 45MVA로 모의하였다.



<그림 3> 고조파 해석 결과

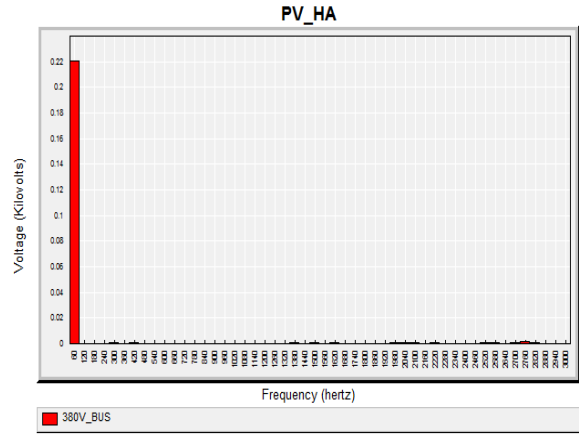
<표 4>는 고조파 해석 결과 태양광발전소 380V 모선 전압 고조파 스펙트럼을 나타낸 것이다. THD는 1.33%로 고조파 함유량이 매우 적어 전력 품질에 영향을 미치지 않게 된다. 아울러 배전선로에 연결되어 있는 다른 수용가에게 영향을 미칠 수 있는 22.9kV 모선 전압 THD는 0.12%로서 고조파 영향이 거의 없는 것으로 나타났다.

<표 4> 고조파 해석 결과 380V 모선 전압 스펙트럼

Freq. [Hz]	Modulus [V]	Angle [deg]	THD[%]
60.00	220.8	2.99	0.00
120.00	0.2	9.57	0.09
180.00	0.0	67.18	0.02
240.00	0.2	-172.53	0.11
300.00	0.6	88.88	0.28
⋮	⋮	⋮	⋮
2880.00	0.2	73.34	0.07
2940.00	0.4	-116.32	0.18

3000.00	0.2	-53.93	0.07
THD[%]			1.33
KVT[KV]			24.333
TIF			110.20

<그림 4>는 고조파 해석 결과 태양광발전소 380V 모선 전압 고조파 스펙트럼을 그래픽으로 나타낸 것이다. 여기서 알 수 있듯이 고조파가 거의 없는 상태이다.



<그림 4> 380V 모선 고조파 전압 스펙트럼

고조파 전력은 발생되는 고조파 성분의 크기에 따라 좌우됨은 물론 전원측 등가 고장전류 크기에 따라라도 영향을 받게 된다. **<표 5>**는 배전선로 공장에 따른 전압THD를 분석한 결과이다. 즉, 배전선로 공장이 짧으면 짧을수록 고조파 영향이 감소하게 된다. 이는 전원측 고장전류가 크면 클수록 즉, 전원측 고장임피던스가 작으면 작을수록 고조파 영향이 적게 나타나는 것을 의미한다.

<표 5> 배전선로 공장별 전압THD 영향 분석 [단위 : %]

구분	5km	10km	15km
KEPCO 22.9kV 모선	0.04	0.06	0.45
태양광발전소 22.9kV 모선	0.12	0.32	3.34
태양광발전소 380V 모선	1.33	1.51	3.54

3. 결 론

태양광발전은 이의 점유율이 지속적으로 증가될 전망이다. 태양광발전 설비인 인버터는 비선형 전력소자로서 고조파 발생원이다. 본 연구에서 조사하여 실측한 인버터는 고조파가 계통에 유입되는 것을 제한하기 위해 Filter와 1대1 변압기를 채택하여 양호한 고조파 억제 효과를 나타내고 있다. 특히 전력회사와의 접속점에서 고조파가 규제치 이내로 제한되고 있어 전력품질 적정 유지가 가능한 것으로 나타났다.

전력계통에서 고조파가 발생하면 유도성리액턴스와 용량성리액턴스의 결합으로 전력계통 구성에 따라서는 직렬공진 또는 병렬공진이 발생할 수 있으며 공진이 발생하게 되면 전기기기 및 전력케이블 절연 파괴와 같은 사고로 이어질 수 있다. 따라서 비선형 전력소자를 사용하는 태양광발전의 고조파 현상을 지속적으로 분석 및 연구할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이성규, 김용진, 정형모, 이강완, “풍력발전이 있는 소규모 전력계통의 고조파 해석”, 대한전기학회 전력기술부문회 전력계통연구회, 춘계학술대회는논문집 pp132-135, 2008. 5.30-31
- [2] 오동환, 장길수, 이강완, “실측치에 의한 전기아크로 고조파 해석 모델 개발”, 대한전기학회, 대한전기학회 하계학술대회는 논문집 pp.298-301, 2001.7
- [3] “PSAF for Windows User’s Guide and Reference Manual”, CYME International T&D Inc., May 2006
- [4] “CYMHARMO User’s Guide and Reference Manual”, CYME International T&D Inc., March 2006