

다수 PV 시스템 연계로 인한 배전계통 고조파 영향

정승복, 김재철, 신동우
숭실대학교

A Effect of Distribution Harmonic Due to Distribution Interconnected Multiple PV System

Seung-Bock Jung, Jae-Chul Kim, Dong-Wo Shin
Soongsil University

Abstract - Recently, the interest of multiple PV(photovoltaic) system has been increased. However there are several problems such harmonic, dc current, protection coordination and voltage problem in distribution system interconnected PV. In this paper, we study LC parallel resonance of distribution system harmonics.

1. 서 론

PV 시스템은 신재생에너지중 가장 각광을 받으면서 소규모 및 대규모로 설치되고 있다. 가정용을 목적으로 설치된 3kW 태양광은 계통에 연계했을 경우 문제가 발생하지 않았다. 하지만 이런 태양광발전 다수(소규모 군집) 및 대규모로 설치되게 되면 계통에는 분명한 영향을 미치게 된다. 배전계통에는 고조파, 직류, 보호협조, 전압상승등의 문제가 발생하게 된다. 특히 고조파 문제는 국내 배전계통에 다수 PV시스템이 연계될 경우, 배전계통의 구성과 PV시스템의 인버터 스위칭 방식에 따라서 고조파 공진 문제가 발생할 수 있다. 또한 다수의 단상 PV시스템이 연계되었을 경우 영상 고조파로 인한 중성선 고조파 문제도 발생할 수가 있다. 다수 PV 시스템 연계시 고조파 영향에 대해서 다음과 같은 연구 결과들이 있다.

Enslin, J.H는 독일지역에 다수 PV시스템이 연계되었을 경우 고조파 공진으로 인한 문제에 대해서 다루었다. 고조파로 인한 공진이 발생하여 특정 고조파(21th, 23th)가 더 크게 발생하게 되어 전체 THD가 규정치를 벗어나게 되었다[1]. 일본지역 Rokko Island에서 다수 PV시스템이 연계되었을 경우 고조파 및 전압상승의 문제에 대해서 다루었다. 다수 PV 시스템이 연계되었을 경우 연계위치, 운전역률, 불평형 연계에 따른 고조파 문제 및 전압상승에 대해서 연구를 하였다[2].

Deniz Yildirim는 고조파가 배전계통의 변압기에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 고조파가 배전계통에 영향을 미치는 K-factor 및 새로운 factor를 제시해 이에 따른 변압기 영향을 살펴보았다[5].

본 논문에서는 고조파로 발생하는 여러 가지 문제중에서 다수 PV시스템 연계시 발생하는 고조파 공진에 따른 문제를 살펴보았다. 다수 PV시스템이 연계되었을때 각 PV시스템은 인버터 스위칭방식에 따라서 각기 다른 고조파가 발생하게 된다. 이때 계통과의 공진되는 고조파가 발생하게 되면 고조파는 증폭되고 전체 THD는 증가되게 된다. 국내 배전계통에 다수 및 대규모 PV시스템이 연계되었을 경우 가정해서 고압 및 저압 모델 배전계통을 구성하였다. 각각 PV시스템이 연계되었을 경우의 L, C를 구하고 LC공진여부를 조사하였다. 연계위치 및 연계 규모에 따른 LC공진여부를 조사하였다. 고압에 비해서 저압에 PV시스템이 연계되었을 경우 LC 공진이 발생할 가능성이 있다는 것을 알 수 있다.

2. 본 론

2.1 LC 공진

보통 등가 커패시턴스는 0.6 ~ 6 uF정도 되고, 1 ~ 3kW 상업용 인버터의 경우 0.5 ~ 10uF 출력 커패시턴스를 사용한다. 네트워크의 공명 현상은 크게 두가지로 나눌 수가 있다.

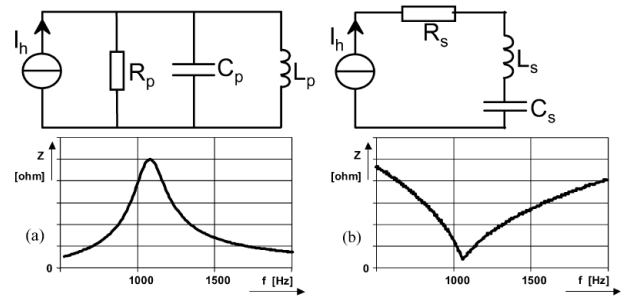
(1) 병렬공진

그림 1의 (좌)와 같이 병렬 공진이 생기면 공진이 되는 주파수 대역의 임피던스가 커지게 된다. 만약 고조파 공진이 일어나게 되면 공진 고조파의 전압이 커지게 되고 전압파형의 왜곡이 더 심해진다.

(2) 직렬공진

그림 1의 (우)와 같이 직렬 공진이 생기면 공진이 되는 주파수 대역의

임피던스가 작아지게 된다. 만약 고조파 공진이 일어나게 되면 공진 고조파의 전류가 커지게 되고 전류파형의 왜곡이 더 심해진다.



<그림 1> LC 병렬(좌), 직렬(우)공진

병렬, 직렬 공진의 공진 주파수는 다음 식 (1)과 같다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{1}$$

2.2 배전계통 LC 공진

배전계통에 PV시스템이 연계되게 되면 PV시스템의 인버터로 인한 고조파가 발생하게 된다. 이 고조파가 배전계통의 공진주파수와 일치할 경우 고조파 문제는 더욱 심해질 가능성이 있다. 따라서 배전계통의 LC 공진 여부를 보기 위해서 등가 커패시턴스를 0.6 ~ 6uF, 인버터의 커패시턴스를 0.6 ~ 10uF, 각 수용가의 커패시턴스를 3uF라고 가정하였다.

표 1과 같은 다양한 Case를 만들어 LC 공진 여부를 알아보았다.

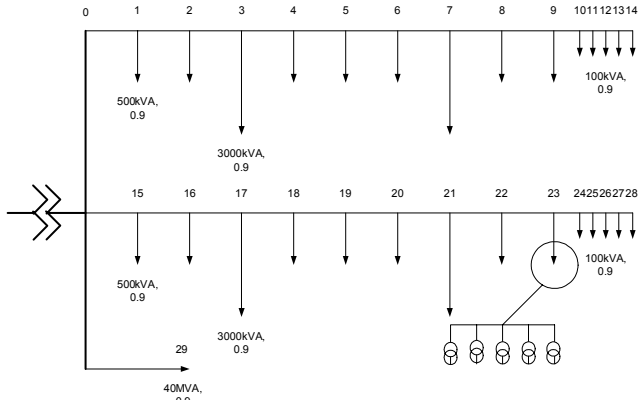
<표1> LC 공진 여부를 위한 Case(저압배전계통)

등가커패시턴스	인버터커패시턴스	수용가수
1uF	1uF	10수용가
	3uF	20수용가
	6uF	30수용가
	10uF	40수용가
3uF	1uF	10수용가
	3uF	20수용가
	6uF	30수용가
	10uF	40수용가
6uF	1uF	10수용가
	3uF	20수용가
	6uF	30수용가
	10uF	40수용가

2.3 모델배전계통

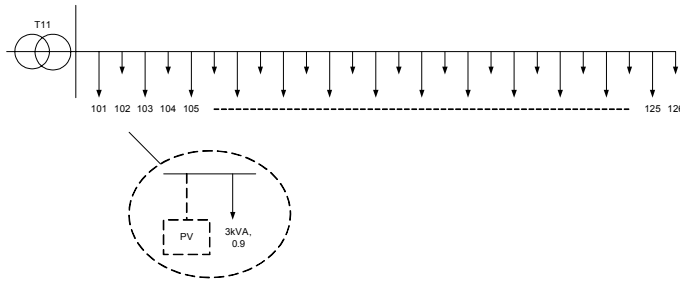
다음 그림 2, 3 은 국내 배전계통의 고압, 저압 배전계통을 등가화한 모델이다. 그림 2, 3의 배전계통 모델에 대한 파라메타는 [3]을 참조하면 된다. 그림 2의 계통은 22.9kV 계통이고 총 45/60MVA의 부하를 감당하

고 있다. 각 피더는 고압부하 및 저압부하로 구성되어 있고 0 ~ 9, 0 ~ 23까지의 거리는 각 1km이고, 10 ~ 14, 24 ~ 28까지의 거리는 200m이다. 고압부하는 3000kVA, 저압부하는 500kVA이며, 500kVA 부하는 100kVA 5개의 저압부하로 다시 분할된다고 가정하였다.



<그림 2> 고압배전계통 모델

그림 3은 하나의 100kVA 부하를 구체화하여 표시한 것이다. 부하는 3kVA, 5kVA 구성되어 있고, 노드의 총수는 28개이고 PV 시스템은 각 부하에 어느 위치에든지 연계될 수 있다고 가정하였다.



<그림 3> 저압배전계통 모델

2.4 다수 PV 시스템 연계시 배전계통의 고조파 공진

다수 PV 시스템이 배전계통에 연계되게 되면 고조파가 발생하게 되는데 이 고조파가 배전계통의 공진 주파수와 일치할 경우 증폭되어 THD가 규정치를 넘어가게 되는 문제가 발생하게 된다. 본 논문에서는 PV시스템이 고압 및 저압연계시 국내배전계통의 공진여부에 대해서 알아보았다.

2.4.1 고압배전계통의 고조파 공진

PV시스템이 주변압기에서 10km정도 떨어진 곳에 연계되어 있다고 가정할 경우, 즉, 그림 2에서 노드 10, 11, 12, 13, 14에 연계되어 있을 경우 주변압기 리액턴스와 선로의 리액턴스를 모두 합하면 총 L은 0.01367H가 된다. 10km에 1MW 정도의 PV 시스템의 연계되어 있다고 가정할 경우 한 가정의 소비전력이 3~5kW 가정을 할 경우 약 200~300호가 전기를 소비하고 있다. 또한 모든 가정에 태양광이 설치되어 있다고 가정을 하자. Enslin, J.H.는 한 가정당 C(3uF), 각 인버터당 C(3uF)를 설정하였다. 총 200호 가정이 전기를 소비한다고 하면, 총 C = 1200uF정도가 된다.

이때 공진 주파수는

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.01367 \times 1200 \times 10^{-6}}} = 39.315\text{Hz}$$

가 된다. 고압배전계통은 공진주파수가 크게 변하지 않기 때문에 고조파 공진 문제가 있어서 PV 시스템연계시 거의 공진이 일어날 가능성이 없다는 것을 알 수 있다.

2.4.2 저압배전계통의 고조파 공진

하지만 저압 계통의 경우에는 다르다. 그림 2와 같이 100kW 정도 연계된 저압선로의 경우 주상 변압기와 저압선로의 임피던스를 합한 리액턴스는 L은 0.6 mH가 된다. 각 20호 정도 전기를 소비하고 모두 PV 시스템이 연계되어 있다고 가정하면 총 C = 120uF 정도가 된다.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{0.6 \times 10^{-3} \times 120 \times 10^{-6}}} = 866.92\text{Hz}$$

14 ~ 15 고조파의 경우 공진 주파수가 발생할 수 있는 문제가 된다.

다음 표 2는 그림3의 저압계통에서 연계위치 및 소비가정수에 따른 공진주파수 결과이고 표 3은 1km연계 위치에서 등가, 인버터, 수용가 커패시턴스에 따른 공진주파수 결과이다.

<표 2> 연계위치 및 수용가수에 따른 공진주파수 결과

연계위치	가정호수	L	C	주파수(Hz)	고조파차수
500m	5	0.000371	0.000015	2134.6	35
500m	10	0.000371	0.00003	1509.4	20
1km	5	0.000562	0.000015	1733.8	29
1km	10	0.000562	0.00003	1226.1	20
1km	20	0.000562	0.00006	866.9	14

<표 3> 인버터, 수용가 커패시턴스에 따른 공진주파수 결과

수용가수	인버터C	공진주파수	고조파차수
10	1uF	1049.0	18
	3uF	860.0	14
	6uF	704.1	12
	10uF	586.9	10
20	1uF	746.3	12
	3uF	610.6	10
	6uF	499.3	8
	10uF	415.8	7
30	1uF	610.6	10
	3uF	499.3	8
	6uF	408.0	7
	10uF	339.7	6

표 2,3의 결과를 보면 연계위치 및 인버터 C, 연계용량에 따라서 공진 주파수가 변한다는 것을 알 수 있고 다양한 공진주파수가 발생한다는 것을 알 수가 있다. 따라서 다수 PV 시스템을 저압계통에 연계시 고조파가 증폭되어 전체 THD가 증가되는 문제가 발생하고 규정치를 넘게 되는 문제가 발생할 수 있게 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 대용량, 다수 PV 시스템 연계시 배전계통에 미치는 영향에 대해서 알아보았다. 특히 여러문제중 고조파가 미치는 영향에 대해서 알아보았다. 고압배전계통의 경우 국내 배전계통에서는 대용량의 PV 시스템이 연계된다고 하여도 고조파에 의한 공진 문제는 발생하지 않지만 저압배전계통의 경우 다수 PV 시스템이 연계 되었을 경우 연계위치, 인버터 C 및 연계용량에 따른 고조파 공진이 문제가 될 수 있다는 것을 알 수가 있다. 추후 PV 시스템을 저압계통에 다수 연계할 경우 이들을 살펴볼 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 기초전력연구원(R-2005-B-114)의 지원을 받아 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Enslin, J.H., Heskies, P.J., "Harmonic interaction between a large number of distributed power inverters and the distribution network", IEEE Trans. Vol. 19, No. 6, pp. 1586-1593, 2004
- [2] 일본고압도 연계보고서, 2000
- [3] 한국전력공사 배전처, 배전보호 기술서, 1995
- [4] 산업자원부, 주택용 태양광 발전시스템의 운전평가 및 실용보급방안 연구, 2003. 6
- [5] Deniz Yildirim, E. F. Fuchs, Measured Transformer Derating and Comparison with Harmonic Loss Factor (FHL) Approach, IEEE Trans. on PWRD, Vol. 15, No 1, Jan 2000