

EMTP를 이용한 태양광 발전의 계통 연계시 고조파 분석에 관한 연구

고운태*, 서훈철**, 여상민*, 김철환*
 성균관대학교*, 기초전력연구원**

A Study on Harmonic Analysis in Grid-Connected Photovoltaic System using EMTP

*Yun-Tae Ko, **Hun-Chul Seo, *Sang-Min Yeo, *Chul-Hwan Kim
 *Sungkyunkwan University, **KESRI

Abstract - 태양광 발전은 영구적이고 친환경적인 에너지를 생산하는 에너지원으로서 세계적인 관심을 받고 있으며 앞으로 더 많은 투자와 연구가 진행될 것으로 예상된다. 이러한 태양광 발전이 계통에 연계되었을 때 전력품질, 보호 등 다양한 문제에 영향을 끼친다. 특히, 태양광의 출력을 직류에서 교류로 변환하는 인버터의 스위칭으로 인하여 많은 고조파가 발생하게 된다. 따라서, 태양광 발전의 계통 연계시 발생하는 고조파의 분석은 반드시 필요한 사항이다. 본 논문에서는 태양광 발전의 계통 연계시 고조파 분석을 수행하였다. 태양광 발전은 EMTP를 이용하여 단상 풀 브릿지 인버터를 이용하여 계통에 연결되는 것으로 모델링 하였다. 태양광 발전의 용량 및 비선형 부하의 용량을 다양하게 변화시켜 모의 하였으며, 다양한 조건에 따라 부하에 흐르는 전류의 THD의 변화를 분석하였다.

립형 시스템은 다른 계통과 연결되지 않는 독립형 발전 방식으로서, 전력계통망이 없거나 상용계통이 없는 지역에서 사용한다. 이러한 방식은 잉여전력을 축전지에 저장하여 필요시 부하에 전력을 공급한다. 이에 반해, 계통연계형 시스템은 상용 전력계통과 연계되는 결합형 발전방식으로서 잉여전력을 계통에 반환하고, 부족시 계통에서 전력을 공급받는다. 따라서, 인버터에 의하여 발생한 고조파로 인하여 계통의 고조파가 증가할 수 있다.

1. 서 론

가스 및 석유 등 한정된 자원량에 의한 연료 가격의 상승 및 환경오염 등으로 인하여 국제적으로 관심이 증가하고 있다. 태양광, 풍력, 연료전지 등 다양한 신재생 에너지 중 태양광 에너지는 영구적인 에너지원으로 사용될 수 있으며 청정자원으로서 오염문제도 줄어들게 될 뿐만 아니라 한번 설치를 하면 장기간 사용할 수 있다는 장점을 바탕으로 많은 투자와 지원을 받고 있다[1]. 태양광 발전에는 독립형, 계통연계형이 있다. 현재, 태양광 발전의 용량 증가로 인하여 계통연계형 태양광 발전이 증가하고 있다. 태양광 발전의 계통연계시 인버터의 스위칭으로 인한 고조파, 출력변동, 상불평형, 계통의 역률저감문제 등 전력품질 측면에서 다양한 문제가 발생하고 있다[2-4]. 따라서, 태양광 발전의 효율적인 계통 연계를 위하여 이러한 사항에 대한 정확한 분석이 요구되고 있다.

2.2 고조파와 THD

전력 변환장치들(인버터, 컨버터 등)의 출력 파형은 스위치의 주기적인 스위칭에 의하여 얻어지므로 보통 매우 복잡한 모양의 비정현 주기파(nonsinusoidal periodic wave)가 된다. 이러한 비정현 주기파들의 성분들은 푸리에 전개(Fourier expansin)를 통하여 정현파들의 합으로 표현을 할 수 있다. 여기서 기본주파수(60Hz)의 정현파를 기본파라 하고 기본주파수의 정수배를 갖는 주파수를 고조파(harmonic)라 한다. 이러한 고조파들이 얼마나 많이 포함되었는지를 나타내기 위해서 전고조파왜율(THD: Total Harmonic Distortion)을 사용한다. THD는 기본파에 대한 고조파의 비로서 다음 식 (1)과 같이 계산된다.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \tag{1}$$

여기서, I_1 : 기본파 전류
 h : 고조파 차수
 I_h : 고조파 전류

3. 사 례 연 구

3.1 계통 모델

태양광 발전의 계통 연계시 고조파 분석을 위한 모델 계통은 다음 그림 1과 같다. 태양광 발전은 단상 풀 브릿지 인버터를 거쳐서 A상에만 연결된다. 배전선로의 길이는 20km이며, 영상분 임피던스는 0.4533+j1.19897 Ohm/km 정상분 임피던스는 0.1823+j0.39005 Ohm/km이다. 22.9kV 측 Bus 2에 1MVA, 역률 0.9의 부하가 연결되어 있으며, 380V의 저압측에는 50kW 부하가 연결되어 있는 형태이다.

2. 태양광 발전과 고조파

2.1 태양광 발전

태양광 발전은 태양전지(Cell)를 모아 array로 만들어 그 array를 통해 태양으로부터의 빛을 직류 전원으로 변환하고, 인버터를 통하여 상용주파수의 교류로 변환하여 전력을 공급해주는 발전 형태이다. 태양광 발전의 종류에는 독립형(stand-alone PV system)과 계통연계형(grid-connected PV system)이 있다. 독립형

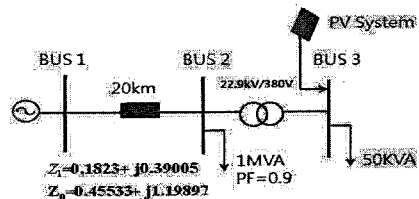


그림 1. 태양광이 연계된 계통 모델

3.2 시뮬레이션 조건

태양광 발전의 출력용량 및 계통의 비선형부하량에 따른 고조파 분석을 위한 시뮬레이션 조건은 다음 표 1과 같다. 비선형부하는 그림 1의 계통모델의 저압측인 Bus 3에 연결되며, 정류기를 거쳐서 저항에 연결되는 형태로 모델링하였다.

표 1. 시뮬레이션 조건

| 태양광 발전의 출력용량 | 비선형 부하량 |
|--------------|---------|
| 3kW | 0kW |
| 6kW | 25kW |
| 9kW | 50kW |
| | 75kW |

3.3 시뮬레이션 결과 및 분석

표 1의 시뮬레이션 조건에서 태양광 발전의 출력용량이 3kW인 경우, 비선형 부하량이 0kW인 경우와 75kW인 경우 부하에 흐르는 전류는 다음 그림 2와 같다. 이에 따른 고조파 스펙트럼은 다음 그림 3과 그림 4에 나타나 있다. 이 스펙트럼에서 알 수 있듯이 75kW의 비선형 부하에서 고조파 성분이 많이 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 그림 2-4를 통하여 태양광 발전의 출력용량이 동일한 경우, 비선형 부하량이 증가할수록 고조파가 많음을 알 수 있다.

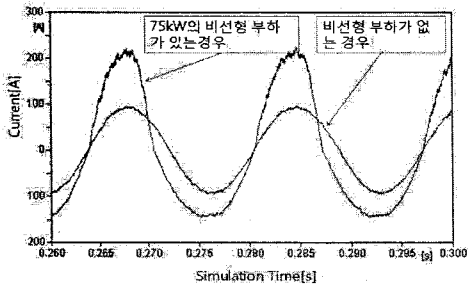


그림 2. 3kW 태양광발전이 계통에 연결된 경우, 비선형 부하량에 따른 부하에 흐르는 전류

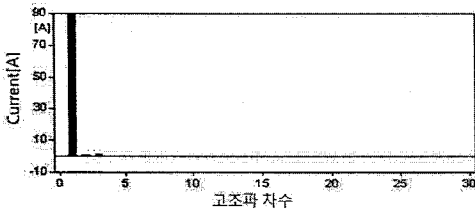


그림 3. 비선형 부하가 없는 경우의 고조파 스펙트럼

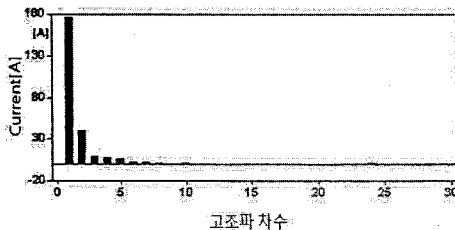


그림 4. 75kW 부하일 경우의 고조파 스펙트럼

비선형 부하량이 75kW일때, 태양광발전의 출력용량이 3kW인 경우와 9kW인 경우에 대하여 부하에 흐르는 전류는 다음 그림 5와 같다.

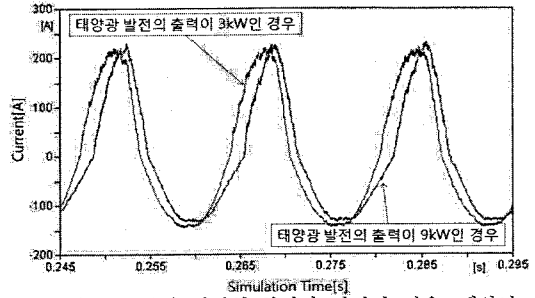


그림 5. 75kW의 비선형 부하가 연결된 경우, 태양광 발전의 출력용량에 따른 부하에 흐르는 전류

태양광 발전의 출력이 3kW의 고조파 스펙트럼은 그림 5와 같고 태양광 발전의 출력이 9kW인 경우 고조파 스펙트럼은 다음 그림 6과 같다. 그림 4 및 5-6을 통하여, 비선형 부하량이 동일한 경우, 태양광 발전의 출력용량이 증가할수록 고조파가 많음을 알 수 있다.

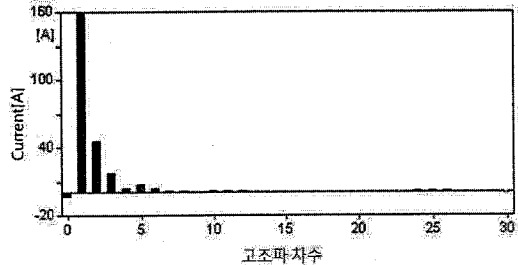


그림 6. 태양광 용량이 9kW일 경우의 고조파 스펙트럼

상기에서 시뮬레이션 조건에 대한 일부 결과를 나타내었다. 좀 더 자세한 분석을 위하여, 표 1의 시뮬레이션 조건에 대하여, 부하에 흐르는 전류의 고조파를 분석하기 위하여 전체 30 고조파까지 고려하여 THD를 계산하였으며, 결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 각 시뮬레이션 조건에 대하여 부하에 흐르는 전류의 THD 계산

| 비선형 부하량 | 태양광 용량 | | |
|---------|-----------|-----------|-----------|
| | 3kW | 6kW | 9kW |
| 0 | 1.9067(%) | 2.5101(%) | 2.8401(%) |
| 25kW | 13.283(%) | 14.756(%) | 16.807(%) |
| 50kW | 21.028(%) | 23.448(%) | 26.075(%) |
| 75kW | 25.104(%) | 28.542(%) | 31.825(%) |

표 2의 THD 계산 결과를 바탕으로, 비선형 부하량이 동일한 경우 태양광 발전의 용량에 따른 THD의 변화에 대하여 그래프로 나타내면 다음 그림 4와 같고, 태양광 발전의 용량이 동일한 경우 비선형 부하량에 따른 THD 변화를 그래프로 나타내면 다음 그림 8과 같다.

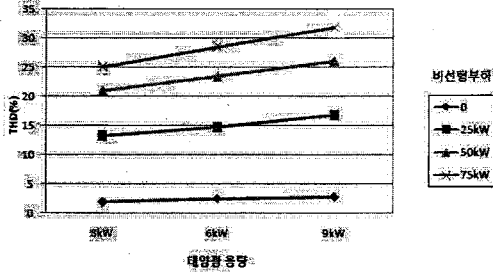


그림 7. 비선형 부하가 일정한 경우 태양광 용량에 따른 THD 변화

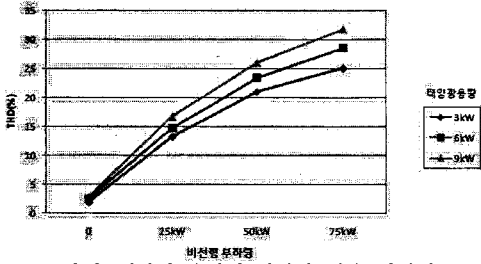


그림 8. 태양광 용량이 일정한 경우 비선형 부하의 증가에 따른 THD 변화

그림 4와 5의 분석결과는 다음과 같다.

- ① 부하량이 일정한 경우, 태양광 용량이 2배, 3배 증가 하더라도 THD는 같은 비율로 증가하지 않고, 매우 낮은 비율로 선형적으로 증가한다. 예를 들어, 비선형 부하량이 25kW인 경우 태양광 발전의 출력이 3kW에서 6kW로 2배 증가할 때 THD는 13.283%에서 14.756%로 즉, 1.47%가 증가하였으며, 3kW에서 9kW로 3배 증가할 때 13.283%에서 16.807%로 즉, 3.524%가 증가하였다. 비선형 부하량이 50kW인 경우, 태양광 발전의 출력이 2배와 3배로 증가함에 따른 THD의 증가율은 2.42%, 5.097%이다. 비선형 부하량이 75kW인 경우, 태양광 발전의 출력이 2배와 3배로 증가함에 따른 THD의 증가율은 3.438%, 6.721%이다.
- ② 태양광 용량이 일정한 경우 비선형소자의 용량이 증가함에 따라 THD는 증가한다.
- ③ 태양광 용량이 일정한 경우, 비선형 부하량의 증가에 따른 THD의 증가율은 비선형 부하량의 증가율과 같다. 예를 들어, 3kW일 경우 태양광 발전의 경우 비선형 부하량이 25kW에서 50kW로 2배 증가하면 THD 증가율은 7.7%정도이며 그리고 50kW에서 75kW로 비선형 부하가 증가하면 증가량은 7.7%의 절반인 4%정도 변화하는 것을 알 수 있다. 이런 변화량은 6kW와 9kW일 경우도 비슷하게 증가한다.

4. 결 론

본 논문에서는 태양광 발전의 계통연계에 따른 고조파 변화를 THD를 이용하여 분석하였다. 이를 위하여

우선, EMTF를 이용하여 태양광발전이 연결된 배전계통을 모델링하였다. 그 후 태양광발전의 출력 및 계통에 연결된 비선형부하량을 변화시키면서 시뮬레이션을 수행하여 부하에 흐르는 전류의 THD를 계산하였다. THD의 분석결과, 비선형 부하량이 동일한 경우, 태양광 발전의 용량이 증가할 때 THD 값 자체는 태양광 발전 용량의 증가율과 같은 비율로 증가하지 않고, 매우 낮은 비율로 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었다.

이러한 분석결과는 계통연계형 태양광 발전에 대한 전력품질 향상 대책수립에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 조해인, 여상민, 김철환, "EMTF를 이용한 Solar Cell 특성 분석에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2008. 7. 16-18.
- [2] M.C.Benhabib, J.M.A.Myrzik and J.L.Duarte, "Harmonic effects caused by large scale PV installations in LV network", Electrical Power Quality and Utilisation 9th International Conference, pp. 1-6, 2007.
- [3] Campen.G.L, "An analysis of the Harmonics and Power Factor Effects at a Utility Intertied Photovoltaic System", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, volume PAS-101, issue12, pp.4632-4639.
- [4] Schlabbach, juirgen, Grob, Andreas, Chicco, Gianfranco, Influence of Harmonic System Voltages on the Harmonic Current Emission of Photovoltaic Inverters, Power Engineering, Energy and Electrical Drives, POWERENG 2007. International Conference on, pp.545 - 550, 2007