

태양광 발전의 출력 변동에 따른 배전계통의 고조파 분석

이정계, 이순정, 서훈철, 김철환
성균관대학교

Analysis of Harmonics according to Output Power Fluctuation of PV System

Jung-Gye Lee, Soon-Jeong Lee, Hun-Chul Seo, Chul-Hwan Kim
Sungkyunkwan University

Abstract - 화석연료의 고갈은 신재생 에너지의 개발을 가속화 시키고 있다. 태양광발전 역시 대체에너지원으로서 그 중요도가 점차 증가하고 있다. 하지만 일사량이나 기후변화 또는 계통연계 위치에 따라서 태양광 발전의 출력이 변동되어 고조파 성분이 계통으로 유입되면서 장치의 소손 원인이 되거나, 통신유도장해, 보호계전기 오동작 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 논문은 EMTP를 이용하여 온도나 조사량이 변하여 태양광 발전의 출력 변동 시 배전계통으로 유입되는 고조파 성분을 분석하였다.

1. 서 론

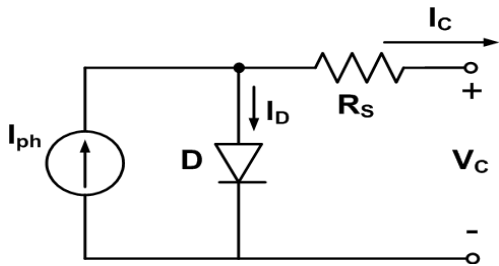
최근, 산업의 발전과 더불어 생활수준이 향상되면서, 전력 소비량은 계속해서 증가하는 추세를 보이고 있다. 하지만 제한된 화석연료는 에너지의 고갈을 의미하기 때문에 에너지 문제를 해결하기 위한 근본적인 대책 마련이 시급하다. 이런 측면에서, 분산형전원의 한 형태인 태양광 발전은 무한한 태양광 에너지를 이용하여 수요자에게 필요한 전력을 공급하면서 이산화탄소 배출을 최소화하기 때문에 대체 에너지원으로서 각광 받고 있다.

태양광 모듈로부터 생성되는 DC는 전력전자 소자로 구성된 인버터의 적절한 스위칭 동작을 통해 AC로의 변환이 가능하다. 하지만 비선형 부하로 이루어진 인버터는 계통 내에 고조파를 유입시키기 때문에 문제가 되고 있다. 또한 일정하지 않은 일사량 및 기온은 태양광 발전 출력 변동의 원인이 되기 때문에 안정적인 출력을 유지 할 때 발생할 때보다 더 많은 고조파를 계통으로 유입시킨다. 따라서 본 논문에서는 조사량과 온도가 일정하지 않을 때의 시뮬레이션을 통해 태양광 발전의 출력변동으로 인해 발생하는 고조파를 분석하였다. 본 논문에서 사용된 배전계통은 환전의 실 배전계통으로서 태양광 발전은 부하단에 연결되었다.

2. 태양광 발전

2.1 태양광 셀의 등가회로

그림 1은 태양광발전의 등가회로이다. 여기에서, 출력전압 V_c 는 다음과 같다.



〈그림 1〉 태양광 셀의 등가회로

$$V_c = \frac{AkT_c}{e} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_c}{I_0}\right) - R_s I_c \quad (1)$$

- 여기서, e: electric charge($1.602 \times 10^{-19}C$)
- k: Boltzmann constant($1.38 \times 10^{-23}J/K$)
- I_c : cell의 출력전류(A)
- I_{ph} : 태양광 전류, 조사량 및 온도의 함수(5A)
- I_0 : 다이오드의 역포화 전류(0.0002A)
- R_s : cell의 직렬 저항(0.001Ω)
- T_c : cell의 동작 온도(20℃)
- V_c : cell의 출력 전압(V)

2.2 태양광 발전의 조사량 및 온도의 영향

온도와 조사량은 항상 일정한 값을 유지하지 않고 변하기 때문에 태양광 array의 출력 역시 이에 따라 변할 것이다. 그렇기 때문에 최종 태양광 array모델에 온도와 조사량의 영향이 포함되어야 한다. 따라서 식 (1)에서 사용한 온도($T_C = 20^\circ C$) 및 T_C 에 대응하는 조사량 S_C 에 대한 기준온도로 가정할 수 있다. 이때 셀의 동작온도는 조사량 및 온도의 함수로서 나타낼 수 있는데, 이는 T_C 가 임의의 온도 T_X 로 변할 때 출력에 미치는 영향을 셀의 출력전압 및 태양광 전류에 대한 온도계수 C_{TV} 와 C_{TI} 를 이용하여 다음과 식 (2),(3)으로 나타낼 수 있다[1-2].

$$C_{TV} = 1 + \beta_T(T_C - T_x) \quad (2)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_C}(T_X - T_C) \quad (3)$$

$\beta_T: 0.004$, $\gamma_T: 0.06$, T_X : 새로운 온도

태양광 array의 출력은 대기의 온도가 일정하더라도 조사량의 변화에 따라서 변할 수 있다. 대기 중의 구름의 양이나 태양광 복사에너지의 입사각의 변화는 태양광 전류 및 셀의 동작온도를 변화시킨다. 조사량이 S_{X1} 에서 S_{X2} 로 증가한다면, 태양광 전류는 I_{ph1} 에서 I_{ph2} 로 증가하게 된다. 이러한 변화는 조사량에 대한 계수 C_{SV} 와 C_{SI} 를 이용하여 표현할 수 있다.

$$C_{SV} = 1 + \beta_x \alpha_s(S_x - S_C) \quad (4)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{1}{S_C}(S_x - S_C) \quad (5)$$

S_x : 새로운 조사량

α_s 는 조사량의 변화로 인한 셀의 동작온도 변화의 기울기를 나타내며, 0.2로 설정하였다.

이제 온도의 변화나 조사량의 변화에 대하여 식(2)~(5)에서 정의한 계수를 이용하여 새로운 셀의 출력전압 V_{CX} 및 태양광전류 I_{phx} 를 다음과 같이 정의 할 수 있다.

$$V_{CX} = C_{TV}C_{SV}V_C \quad (6)$$

$$I_{phx} = C_{TI}C_{SI}I_{ph} \quad (7)$$

3 고조파 국내의 관리기준

전기품질 저하를 규제할 수 있는 근거로서 국내 고조파 허용 기준은 다음 표 1과 같다. 전력회사는 계통으로 유입되는 고조파 전류를 모니터링 해야 하는데, 유입되는 고조파 전류는 표 2의 기준을 초과하지 않아야 한다. 다음 표 2는 IEEE 519의 내용이다[3].

〈표 1〉 국내 고조파 허용 기준치

계통 전압 전압	지중선로가 있는 변전소에서 공급하는 고객	가공선로만 있는 변전소에서 공급하는 고객
	전압 왜형률(%)	전압 왜형률(%)
6.6kV 이하	3	3
154kV 이하	1.5	1.5

<표 2> IEEE Std. 519 최대 전압 왜형률

IEEE Std. 519 최대 전압 왜형률				
최대왜형률 (%)	계통 전압			
	1kV 이하	1~69kV 이하	69~161kV 이하	>161kV
전체고조파	8.0	5.0	2.5	1.5

4 시뮬레이션

4.1 계통모델

본 논문에서 다루는 배전계통은 한전의 실 배전계통으로 참고문헌 [2]에 나타나있다. 계통은 EMTTP를 이용하여 모델링하였고 역률은 0.9로 설정하였다. 정상운전 시 태양광 발전의 출력은 온도 및 조사량에 따라 크게 변하기 때문에 조사량 및 온도의 조건을 변화하면서 계통을 분석하였다. 이때 태양광 발전은 부하 말단에 연결하여 계통내로 유입되는 고조파를 측정하였다.

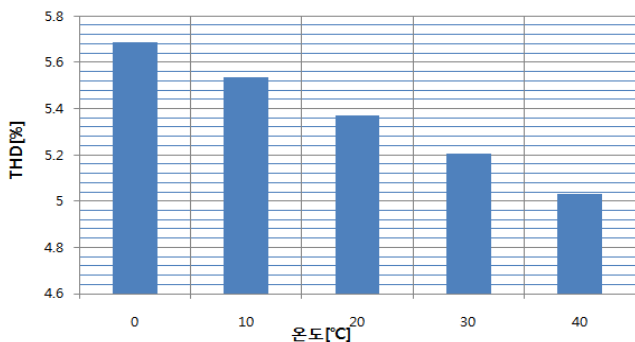
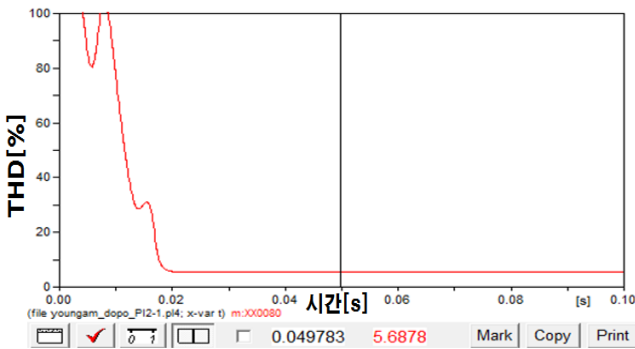
4.2 시뮬레이션 조건

태양광 발전의 고조파성분을 분석하기 위하여 서로 다른 조건하에서 모의하였으며, 우선 조사량을 고정하고 온도가 변하는 경우에 대하여 20℃를 기준으로 0℃에서 40℃까지 10℃단위로 변화시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 다음으로 온도를 일정하게 하고 조사량을 500W/m²을 기준으로 100W/m² 단위로 100W/m²에서 900W/m²까지 변화시키면서 출력되는 고조파를 통해 THD를 분석하였다.

4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

4.3.1 온도의 변화에 따른 고조파 분석

태양광 발전에서 온도가 변할 때 계통으로 유입되는 고조파를 측정하였다. 온도가 0℃일 때 출력되는 THD는 그림 2와 같다. 그림 3에서는 온도를 10℃씩 변할 때 마다 출력되는 THD를 나타내며 온도가 높아질수록 THD가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

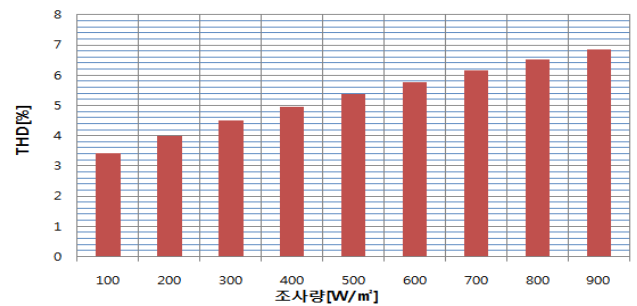
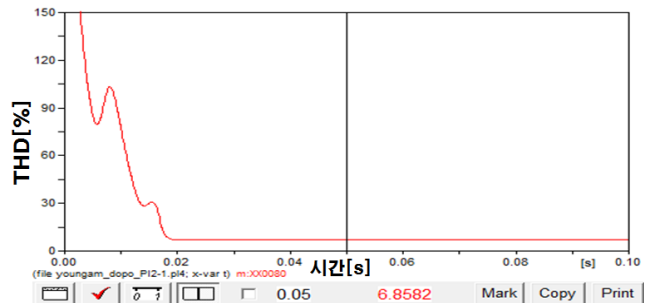


<그림 3> 온도에 따른 THD변화

조사량을 일정하게 유지하고 온도만 변화시켰을 때 태양광발전에서 출력되는 THD를 분석 해 본 결과, 기준온도인 20℃일 때 5.37%로 출력되었던 THD가 0℃일 때 5.688%, 40℃일 때 5.03%가 출력되었다. 온도가 10℃씩 올라갈 때 마다 고조파는 약 0.23%씩 낮게 출력되었다. 온도가 높아질수록 태양광발전의 출력이 낮아져 상대적으로 낮은 고조파가 발생되었다.

4.3.2 조사량의 변화에 따른 고조파 분석

다음으로 온도를 일정하게 유지하고 조사량이 변할 때 계통으로 유입되는 THD를 측정하였다. 그림 4는 온도를 20℃로 일정하게 하고 조사량을 900W/m²으로 했을 때 출력되는 THD를 나타낸다. 조사량을 100W/m²씩 증가하였을 때 발생하는 THD는 그림 5와 같이 점차적으로 높게 나타났다.



<그림 5> 조사량에 따른 THD 변화

온도를 일정하게 유지시키고 조사량만을 변화시켰을 때 계통으로 유입되는 THD는 온도만 변화시켰을 때와 차이를 보였다. 먼저 조사량이 100W/m²일 때 THD가 3.409%로 출력되는 반면, 조사량이 900W/m²인 경우 THD가 6.866%가 출력되었다. 조사량이 100W/m²증가 할 때 마다 태양광 발전의 출력이 증가하여 THD가 약 0.384%씩 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이와 같이 THD변동 폭이 온도가 변할 때 보다 조사량이 변할 때 더 큰 것으로 보아 태양광 발전의 출력은 온도보다 조사량에 더 의존적임을 확인하였다. 또한, 표 1 및 표 2에 나타난 기준과 비교하면, 조사량 및 온도의 변화에 따라 기준값을 초과하는 경우가 발생가능함을 알 수 있다.

4. 결 론

계통연계형 태양광발전에서 태양광발전의 출력은 온도 및 조사량의 변화에 영향을 받는다. 출력이 변하면서 생성되는 고조파 성분은 계통으로 유입되어 여러 가지 문제를 발생시킨다. 온도 및 조사량의 조건을 변화하여 시행한 시뮬레이션 결과 고조파 허용기준인 5%를 초과하여 운전될 수 있음을 확인하였다. 또한 태양광 발전의 출력변동으로 인한 고조파성분은 온도의 변화보다 조사량의 변화에 더 의존함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20103060130010)

[참 고 문 헌]

- [1] 서훈철, 김철환, 윤영민, “태양광 연계 계통의 저전압 보호 기준 정립”, 2009년도 대한전기학회 하계학술대회.
- [2] 서훈철, 윤영민, 김선룡, “Matlab/simulink를 이용한 계통 연계형 태양광 발전 모델링”, 2008년도 대한전기학회 추계학술대회.
- [3] IEEE Standard for interconnection Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE std. 519