

## 분산전원의 배전계통 연계 시 발생하는 고조파에 관한 연구

박재균<sup>1</sup>, 김진성<sup>1</sup>, 오용택<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>한국기술교육대학교 정보기술공학부

### A Study on the Harmonics of Distribution Power System Interconnected with Distributed Generation

Jae-Gyun Park<sup>1</sup>, Jin-Sung Kim<sup>1</sup> and Yong-Taek Oh<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

**요약** 본 연구에서는 분산전원이 연계된 배전계통에서 발생하는 고조파를 평가하고자 PSCAD/EMTDC를 이용하여 분산전원 배전계통 연계 시의 시뮬레이션을 수행하였다. 실제통과 유사한 배전계통 및 태양광발전 시스템을 모델링하여 연계지점을 구간마다 시뮬레이션을 수행하였다. 고조파 연계기준(IEEE Std 1547과 IEEE Std 519)을 적용하여 알고리즘을 작성하고, 시뮬레이션 데이터는 FFT로 변환하여 THD와 TDD로 구분하여 평가하였다. 구간별로 구분하여 평가한 고조파 함유량은 분산전원을 연계하지 않은 상태와 각 구간과 Case 별로 구분하여 평가하여 연계하기 전과 비교하여 고조파를 파악한 결과 모든 배전계통의 구간에서 고조파 분포가 적합하다는 평가를 할 수 있었으며, 부하로 선정된 50kW 유도모터의 특성으로 인해 구간 2에서의 고조파 분포가 증가함으로써 연구 결과의 효용성을 입증할 수 있었다.

**Abstract** In this paper, the analysis of the harmonics of distribution power system interconnected with DG(distributed generation) is simulated by using PSCAD/EMTDC and evaluated the harmonics. The modeling system for simulation is similar to the actual distribution system, and solar power system. The simulation analyses are performed at connection points for each sector. Harmonic standards of interconnection with DG (IEEE Std 1547 and IEEE Std 519) are applied to the evaluation algorithm, converted the simulated data through FFT method, evaluated by THD and TDD separately. The harmonic contents in the case of without DG and each sector with DG are evaluated and compared. The results of evaluation showed the effect that the harmonic contents are appropriated at all sector with DG (without DG) in the distribution power systems but the large induction motor(50KW) is increased the harmonic contents.

**Key Words** : DG(Distributed Generation), THD(Total Harmonic Distortion ), TDD(Total Demand Distortion ), FFT(Fast Fourier Transformation), Simulation, Evaluation, Interconnection

### 1. 서론

최근 이산화탄소로 인한 온난화현상이 지구 환경문제로 심각하게 대두되고 있다. 이산화탄소 배출감소를 의무화하는 교토의정서 준수와 화석연료의 고갈로 인해 발생될 수 있는 문제점에 대응하고자 정부에서는 녹색에너지 정책을 실시하여 풍력, 태양광, 연료전지 등으로 대표할 수 있는 신·재생 에너지가 주목받고 있다[1].

특히, 태양광 발전의 경우 전력변환장치(컨버터-인버터)를 사용하기 때문에 전력변환 과정에서 전압의 왜형이 발생할 수 있다. 전압의 왜형은 고조파의 함유를 의미하는 것이기도 하다. 따라서 본 연구에서는 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션으로 모델링한 배전계통에 분산전원 연계 시 발생하는 고조파를 연계지점별로 데이터를 취득하여, 연계 전의 값을 비교하여 연계지점에 따른 고조파 변화에 대해 분석하였다.

\*교신저자 : 오용택(ytoh@kut.ac.kr)

접수일 09년 10월 14일

수정일 (1차 09년 12월 15일, 2차 10년 01월 09일)

게재확정일 10년 01월 20일

분산전원의 형태는 태양광발전으로 구성하였으며, 용량은 30kW로 모델링하였다. 배전선로는 두 개의 Feeder를 이용하여 각 Feeder를 4개의 구간으로 나누었다. 배전계통 연계 기준은 IEEE-1547 Std와 IEEE-519 Std의 기준을 근거로 하여 고조파를 분석하고, 계통에 악 영향을 미치지 않는 적절한 레벨의 고조파 수준을 산정하고 연계 지점에 따른 고조파 변화에 대한 비교 분석하였다[2,3].

## 2. 고조파 평가 방법

IEEE Std 1547에서의 고조파에 대한 정의는 분산전원이 부하측에 전원을 공급할 때, 고조파 성분이 PCC(Point of Common Coupling) 지점에 포함된다고 정의하였다. 표 1은 고조파 연계기준 중 분산전원이 PCC지점에 연계되었을 때, 고조파의 전압과 전류왜곡현상에 대하여 제한한 기준을 보여주고 있다.

본 연구에서는 분산전원의 배전계통 연계 시 고조파 연계 적합여부를 판단한 알고리즘을 IEEE Std 519와 IEEE Std 1547 중에 그림 1과 같이 IEEE Std 1547을 적용하여 평가하였다. 전압의 고조파 걱정여부는 THD(Total Harmonic Distortion)를 적용하여 판단하였으며, 전류의 고조파는 TDD(Total Demand Distortion)를 적용하여 판단하였다.

THD와 TDD는 각 차수별 고조파 발생량은 3% 이하로 제한하고, 전체적인 고조파 발생량은 5% 이하로 제한하고 있다.

[표 1] 고조파 판단 기준표(IEEE Std 1547)

Individual harmonic order	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Total harmonic distortion
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

Individual harmonic order $h$ (odd harmonics) <sup>a</sup>	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Total demand distortion (TDD)
Percent (%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

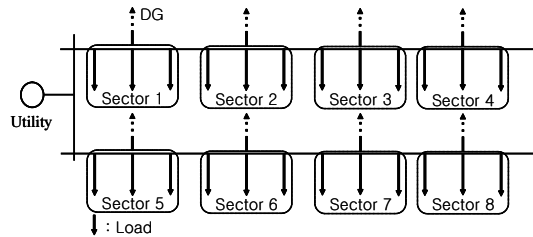
<sup>a</sup> I = the greater of the Local EPS maximum load current integrated demand (15 or 30 minutes) without the DR unit, or the DR unit rated current capacity (transformed to the PCC when a transformer exists between the DR unit and the PCC).

<sup>b</sup> Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

고조파 평가방법으로는 PCC지점에서 전압과 전류 데이터를 취득하여 FFT변환을 통해 고조파를 31차까지 분석하였다. 분석한 데이터를 연계 기준에 제시된 단계별로 적합과 부적합으로 구분, 최종적으로 모든 단계에서 적합일 경우에만 현재 사용 중인 전압과 전류가 사용하기에 적합하다고 판단하였다[4].

## 3. 사례연구

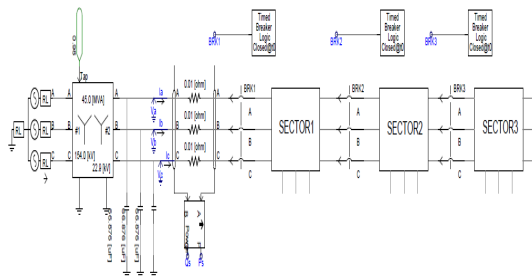
그림 1은 모델링한 계통도를 간략화하여 간이 계통도로 나타낸 것이며, 그림 2는 Data 취득을 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 모델링한 배전계통도이며, 그림 3은 분산전원으로 구성된 태양광발전시스템의 모델링을 나타낸 것이다. 표 2는 모델링한 계통도의 회로구성 파라미터를 나타내고 있다.



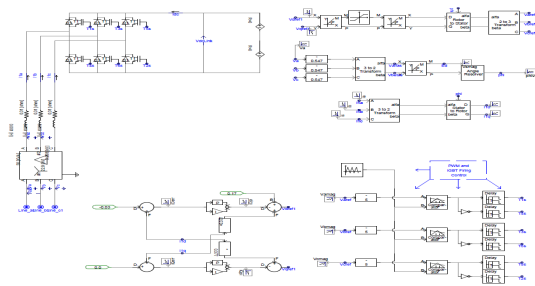
[그림 1] 계통도면

[표 2] 회로 구성 파라미터

주 변압기	용량	45MVA
	탭 설정	0.98
	% 임피던스	15
RL 부하		0.32+j2.314(정상분 %임피던스)
		j17.3(영상분 %임피던스)
부하 구간	4km/구간	0.5km, 1km, 1km, 1km, 0.5km
부하 설정	구간 부하	0.235MW, 0.145MW, 500KVA(유도 모터)

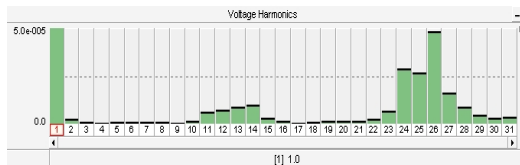


[그림 2] Pscad/EMTDC를 이용한 계통도

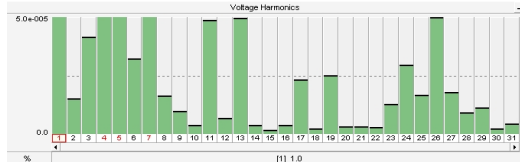


[그림 3] 태양광발전시스템 모델링

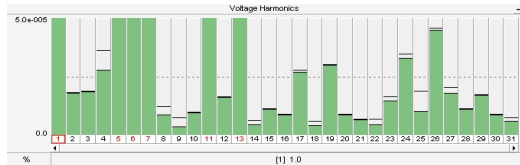
데이터 취득과정은 주변압기의 직하부분을 PCC지점으로 지정하여 출력되는 파형을 FFT로 변환하여 히스토그램을 나타내었다.



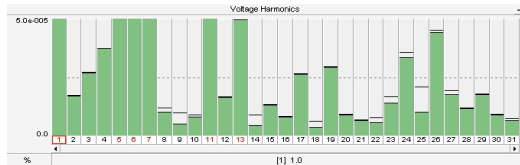
(a) 태양광발전 연계 전 전압 FFT



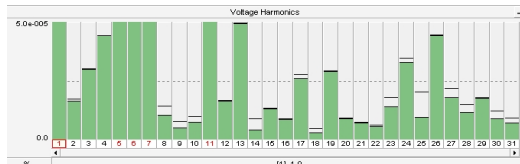
(b) 구간 1에 태양광발전 연계 시 전압 FFT



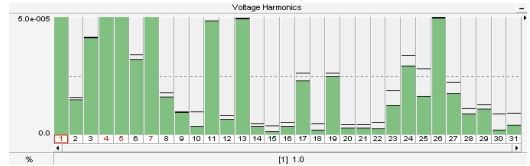
(c) 구간 2에 태양광발전 연계 시 전압 FFT



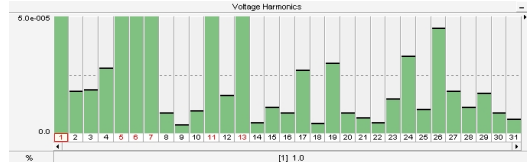
(d) 구간 3에 태양광발전 연계 시 전압 FFT



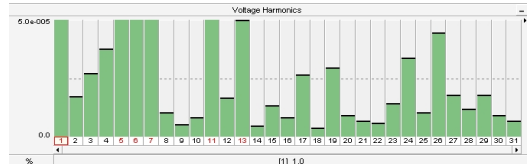
(e) 구간 4에 태양광발전 연계 시 전압 FFT



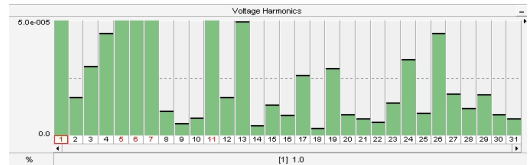
(f) 구간 5에 태양광발전 연계 시 전압 FFT



(g) 구간 6에 태양광발전 연계 시 전압 FFT

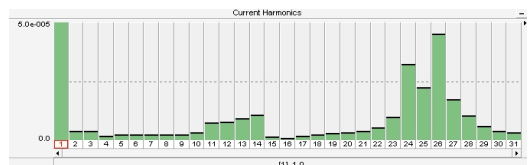


(h) 구간 7에 태양광발전 연계 시 전압 FFT

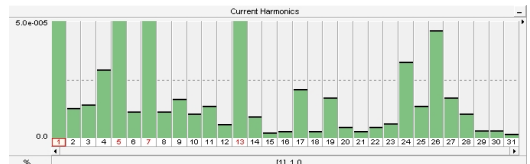


(i) 구간 8에 태양광발전 연계 시 전압 FFT

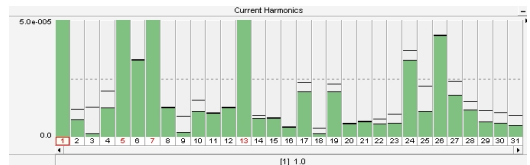
[그림 4] 연계지점별 전압 FFT 변환



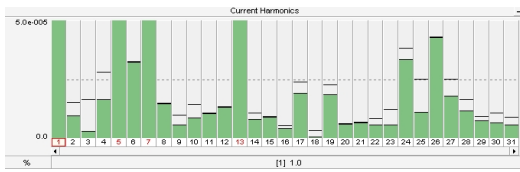
(a) 태양광발전 연계 전 전류 FFT



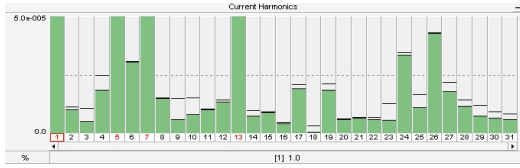
(b) 구간 1에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



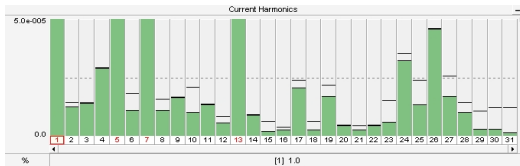
(c) 구간 2에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



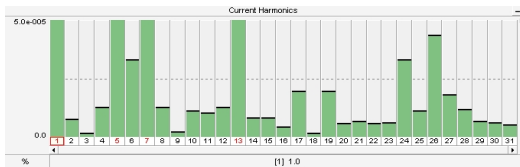
(d) 구간 3에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



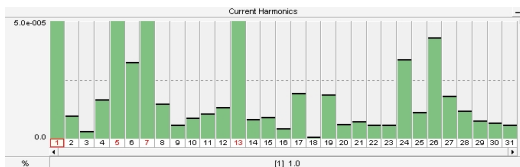
(e) 구간 4에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



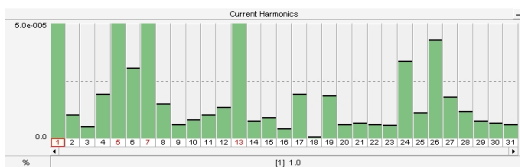
(f) 구간 5에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



(g) 구간 6에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



(h) 구간 7에 태양광발전 연계 전 전류 FFT



(i) 구간 8에 태양광발전 연계 전 전류 FFT

[그림 5] 연계지점별 전류 FFT 변환

### 4. 사례분석

전압과 전류의 출력파형을 FFT변환하여 IEEE Std 1547(분산전원 배전계통 연계 표준안)에 적용하여 분석한 결과, 표 3과 같다. 표 3은 분산전원 연계 전과 각 구간에서의 연계를 총 9개의 Case로 구분하여 나누었다. 표

3과 같이 모든 Case에서의 THD와 TDD는 적합하다는 판단을 할 수 있었다. 배전계통에 분산전원을 연계할 경우 변압기의 용량의 20%이하의 용량을 연계할 수 있다. 하지만 이번에 연계한 태양광 발전설비의 경우 30kW로 변압기의 용량의 약 6%정도 밖에 되지 않아 고조파 성분이 적게 검출되었다.

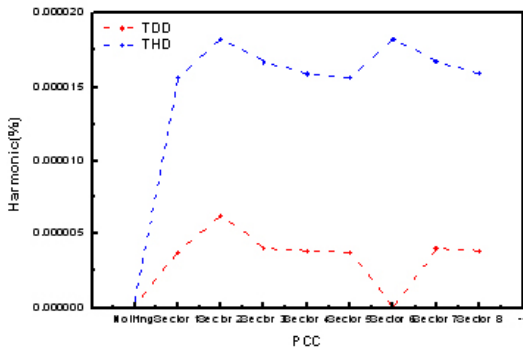
본 연구를 통하여 비록 고조파의 값은 적게 나왔지만, 연계지점에 따른 전압 및 전류의 고조파 성분의 변화는 충분히 알 수 있었다.

[표 3] 고조파 판단 기준 비교표

	THD [%]	TDD [%]
Case 1	0.00000006	0.00000005
Case 2	0.00001563	0.00000378
Case 3	0.00001825	0.00000628
Case 4	0.00001667	0.00000405
Case 5	0.0000159	0.00000388
Case 6	0.00001563	0.00000378
Case 7	0.00001825	0.00000004
Case 8	0.00001669	0.00000405
Case 9	0.00001591	0.00000388

Case 1은 분산전원을 연계하지 않은 경우에서의 THD와 TDD의 성분을 나타내고 있다. Case 1을 기준으로 다른 Case와의 비교를 해 본 결과 THD와 TDD가 가장 높은 구간 2에 연계한 Case 3의 THD와 TDD의 성분이 99.6712%, 98.726% 증가한 것을 알 수 있다. 또한, 고조파의 함유는 2개의 Feeder 중 구간 2와 구간 5에서의 고조파가 높다는 것을 알 수 있었다. 그림 6는 Origin을 이용하여 연계지점 별 THD와 TDD를 도식화한 것이다. 그래프에서 THD의 값이 구간 2에서 증가하는 것을 볼 수 있는데 부하로 연결되어있는 유도전동기에 의해 THD가 증가하였다고 할 수 있다. 모델링한 계통도에서 부하측에 모델링한 유도전동기의 용량은 같지만 슬립조정과 출력, Tin 조정과 같은 설정값을 조정할 수 있게 구성하였다. slip의 조건은 0.992로 설정하였고, 출력은 0.9923, 토크 값은 0.4로 설정하여 구성하였다. 따라서 구간 2에 구성한 유도전동기의 특성에 의해 TDD의 값이 증가했다는

결론을 얻을 수 있었다.



[그림 6] 연계지점별 전압 전류 변화 그래프

### 5. 결론

본 연구에서는 PSCAD/EMTDC를 이용하여 실제계통도와 유사한 배전계통을 모델링하여 구성된 계통에 30kW급 태양광발전시스템의 분산전원을 연계하여 주변 압기의 직하지점에서 전압 및 전류의 데이터를 취득하였다. 취득한 데이터는 FFT변환을 통하여 고조파 연계 기준서인 IEEE Std 1547에서 제안하는 고조파 적정성 여부를 판단하는 방법을 알고리즘으로 개발하여 판단하는 방법을 제안하였다. 분산전원의 용량이 변압기의 용량에 비해 작았기 때문에 고조파의 함유량이 크지 않아 모든 Case에서 적합하다는 판단을 할 수 있었다. 하지만, 분산전원을 연계하지 않았을 경우를 기준으로 다른 Case의 값의 증가량을 판단할 수 있었다. 분산전원을 연계하지 않았을 경우와 각 구간에 연계하였을 경우의 THD와 TDD를 판단한 결과 구간 2에 분산전원을 연계하였을 경우 THD와 TDD의 값이 가장 높다는 것을 알 수 있었다. 그 이유는 구간 2에 연결되어있는 50kW유도모터의 Slip을 0.992로 지정하여 다른 구간에 비해 THD와 TDD에 영향을 많이 미쳤다고 판단할 수 있었다.

이번 연구는 분산전원이 배전계통에 연계되었을 경우에 발생하는 고조파의 성분에 대한 부분을 연구한 것이다. 이번에 취득한 고조파들은 일반적으로 취득하는 순시 값이 아닌 일정시간동안의 고조파를 시간에 따라 취득을 하여 확률적인 통계로 나타낼 수 있었다[5]. 하지만, 분산전원의 형태를 태양광발전시스템의 경우로 제안하였다.

향후에는 분산전원의 형태를 태양광발전시스템을 비롯한 풍력발전, 동기발전, 유도발전의 형태를 연계하였을 경우 발생하는 고조파의 함유량에 대하여 연구를 수행할 예정이다.

### 참고문헌

- [1] 오시덕, “분산전원 기술의 현황과 미래”, 전력전자학회지, 제8권, 제6호, pp. 11-15, 12월, 2003.
- [2] Alejandro R. Oliva and Juan Carlos Balda, “A PV Dispersed Generator : A Power Quality Analysis Within the IEEE 519”, IEEE, 03, pp. 525-530, 2003.
- [3] IEEE-SA Standards Board, “IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resource with Electric Power Systems”, IEEE, June, 2003.
- [4] 박재균, “분산전원 배전 계통 연계시 고조파 영향 분석”, 대한전기학회 하계학술대회, 7월, 2008.
- [5] Paulo F. Ribeiro, Guido Carpinelli, “IEEE Std 519 Revision(The Need For Probabilistic Limits of Harmonics)”, IEEE, 01, pp. 809-812, 2001.

#### 박 재 균(Jae-Gyun Park)

[준회원]



- 2008년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (전기공학학사)
- 2008년 2월 ~ 현재 : 동대학원 전기전자공학과 석사과정

<관심분야>  
전기공학, 신재생에너지

#### 김 진 성(Jin-Sung Kim)

[정회원]



- 1998년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (전기공학학사)
- 2000년 2월 : 한국기술교육대학교 대학원 전기전자공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 ~ 현재 : 동대학원 박사과정

<관심분야>  
전기공학, 신재생에너지

오 용 택(Yong-Taek Oh)

[정회원]



- 1980년 2월 : 숭실대학교 전기공학과 졸업 (학사)
- 1982년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사)
- 1987년 8월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
- 1980년 8월 ~ 1991년 2월 : 한국전력주식회사 근무
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

전력계통해석, 신재생에너지, 전력설비제어