

대용량 태양광발전 연계 배전계통 전기품질 분석

정원욱*, 신동열*, 이학주*, 조성수*, 윤기갑*
한국전력공사 전력연구원*

Power Quality Analysis of the Distribution System with Large scale PV Generators

Won-Wook Jung*, Dong-Yeol Shin*, Hak-Ju Lee*, Seong-Soo Cho*, Gi-Gab Yoon*
Korea Electric Power Corporation (KEPCO/KEPRI)*

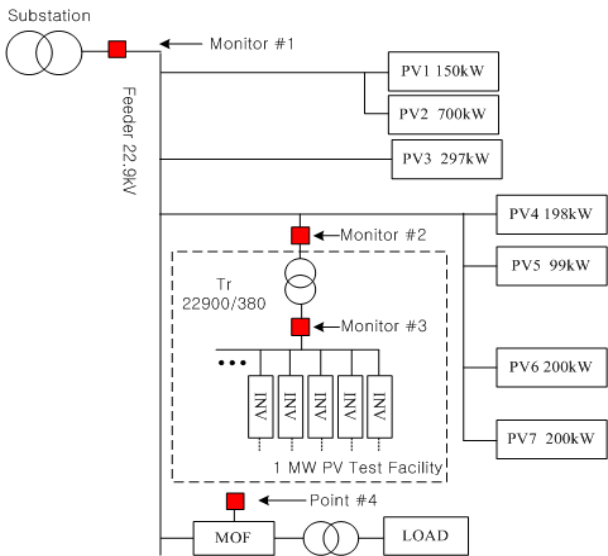
Abstract - 본 논문에서는 국내에 건설된 MW급 태양광 발전소를 대상으로 태양광발전의 출력 특성과 전기품질을 분석하였다. 태양광발전이 인한 전기품질 평가를 위해 1MW 용량의 태양광발전 연계 배전계통을 대상으로 전기품질 측정시스템을 구축하여 1달간 데이터를 취득하였으며 태양광발전의 출력 고조파를 분석하였다. 또한 태양광발전 연계 배전계통의 변전소 및 말단 부하단에서 동시에 전기 품질을 모니터링하여 태양광발전이 배전계통의 전기품질에 미치는 영향을 분석하였다.

1. 태양광발전 전기품질 측정시스템 구축

1.1 대상 태양광발전 연계 배전계통

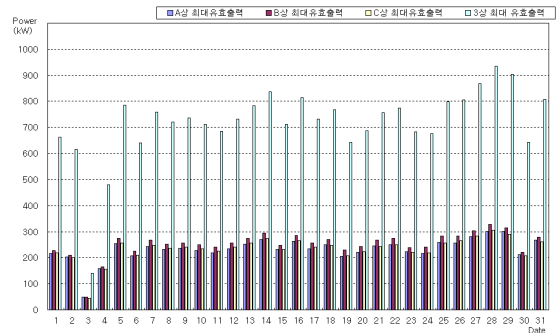
최근 정부의 신재생에너지 보급정책에 힘입어 한전의 배전계통에서 무수히 많은 태양광발전기가 연계되고 있다. 특히, 전남 지역을 중심으로 한 배전선로에 대용량의 태양광발전이 급속히 연계되고 있음에 따라 배전계통의 전기품질 저하가 우려되는바, 본 논문에서는 태양광발전이 연계되어 있는 특정 배전계통을 대상으로 전기품질 모니터링 시스템을 구축하여 태양광발전 출력에 따른 전기 품질을 분석하고자 한다. 본 논문에서는 순천지역을 대상으로 하고 있으며 대상 태양광발전소는 정부지원으로 건설된 MW급 태양광발전 실증연구 단지를 대상으로 하고 있다.

1.2 태양광발전 전기품질 측정시스템 구축



<그림 1> 대상 태양광발전 연계 배전계통 및 전기품질 측정 포인트

그림 1은 대상 배전계통과 특고압계통에 연계된 태양광발전의 현황과 함께 전기품질 측정 포인트를 보여주고 있다. 태양광발전의 전기 품질을 분석하기 위해 1MW용량의 태양광발전소(태양광 실증연구단지)를 대상으로 승압용 변압기 저압측 ACB반에서 1달 동안 모니터링하여 측정된 데이터를 바탕으로 태양광발전의 발전 특성 및 출력 진류에 대한 전기 품질을 분석한다. 그리고 태양광발전이 계통으로 주입하는 고조파에 따른 계통에 미치는 영향을 분석하기 위해 변전소 인출단, 말단 고압 수용가 MOP 2차측 그리고 태양광발전소 승압용 변압기 고압측 VCB반에서 각각 측정기를 설치하여 데이터를 취득하였다.



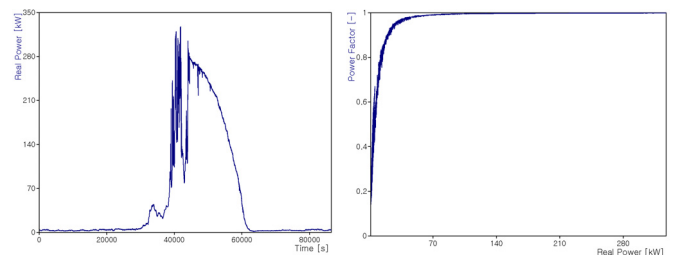
<그림 2> 태양광발전의 1달간 최대 유효출력

2. 태양광발전 발전 출력 특성

순천 1 MW급 태양광발전소의 저압측 계통 연계점에서 2007년 10월 5일부터 11월 4일까지 측정된 데이터를 기반으로 1MW 태양광발전소의 출력특성을 분석하였다.

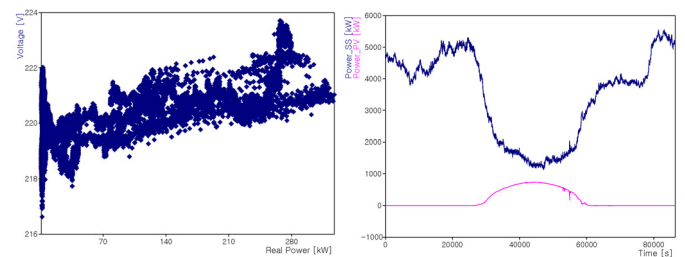
그림 1은 1달간 1MW 태양광발전의 상별 최대 유효출력과 3상 최대 유효출력을 보여준다. 그림에서와 같이 MW급 태양광발전의 출력은 전반적으로 800kW~900kW에서 최대 출력을 발전하는 것으로 분석되었다. 또한 기상상황에 따라 발전량이 거의 없는 날도 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 3은 태양광발전의 발전출력, 발전출력에 따른 운전역률 및 연계점에서의 전압변동 그리고 계통의 조류변동을 각각 보여주고 있다. 그림 3의 (가)는 최대 출력을 발전한 11월 1일 전일 동안의 유효전력 발전 출력 특성 곡선이다. 태양광발전은 입력되는 일사량에 따라 출력량이 크게 변동할 수도 있고 일사량이 안정적으로 입력되는 경우에는 생각보다 매우 안정적인 발전 특성을 갖고 있는 것으로 확인할 수 있다.



(가) 전일간 발전출력 특성

(라) 발전출력에 따른 운전역률



(다) 발전출력에 따른 전압변동

(라) 발전출력에 따른 조류변동

<그림 3> 태양광발전 발전 출력 특성

그림 3의 (나)는 태양광발전 출력에 따른 역률을 보여준다. 결과 그래프에서와 같이 저출력 영역인 60kW 미만인 경우를 제외하고 정상 출력 영역에서는 거의 역률1에 근접하여 운전되고 있음을 확인할 수 있다.

그림 3의 (다)는 태양광발전 출력에 따른 계통 연계점에서의 전압변동 값을 보여준다. 전체적으로 태양광발전 출력량이 많아질수록 계통 연계점에서의 전압은 상승한다. 이것은 태양광발전에 의해 계통으로 주입되는 역조류와 계통의 임피던스에 의해 연계점의 전압이 상승하기 때문이다.

그림 3의 (라)는 태양광발전 출력에 따른 변전소 인출 조류의 변동을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 대상 배전계통에 연계되어 있는 태양광발전기들이 거의 같은 시간대에 발전을 개시함에 따라 변전소에서 인출되는 전류의 양은 크게 줄어드는 것을 볼 수 있다.

3. 태양광발전 출력에 따른 배전계통의 전기품질 분석

〈표 1〉 고조파 차수별 크기 및 비율

홀수 고조파	크기(A)	I_h/I_1 (%)	기준 (%)	짝수 고조파	크기 (A)	I_h/I_1 (%)	기준 (%)
1	1448.274	95.596	4.000	2	2.662	0.176	1.000
3	6.293	0.415	4.000	4	2.122	0.140	1.000
5	5.420	0.358	4.000	6	10.803	0.713	1.000
7	3.716	0.245	4.000	8	2.192	0.145	1.000
9	6.344	0.419	4.000	10	3.101	0.205	1.000
11	4.659	0.308	2.000	12	6.951	0.459	0.500
13	6.143	0.405	2.000	14	2.696	0.178	0.500
15	3.204	0.211	2.000	16	3.691	0.244	0.500
17	2.728	0.180	1.500	18	8.578	0.566	0.375
19	2.225	0.147	1.500	20	2.498	0.165	0.375
21	2.717	0.179	1.500	22	3.551	0.234	0.375
23	2.045	0.135	0.600	24	5.617	0.371	0.150
25	2.426	0.160	0.600	26	2.436	0.161	0.150
27	2.827	0.187	0.600	28	3.629	0.240	0.150
29	2.532	0.167	0.600	30	5.637	0.372	0.150
31	2.237	0.148	0.600	32	1.494	0.099	0.150
33	3.069	0.203	0.600	34	3.064	0.202	0.150
35	1.944	0.128	0.300	36	2.632	0.174	0.075
37	2.139	0.141	0.300	38	1.697	0.112	0.075
39	3.155	0.208	0.300	40	2.435	0.161	0.075

표 1은 대상 태양광발전의 출력 전류에 대한 고조파 차수별 크기 및 비율을 보여주고 있으며 표와 같이 태양광발전 출력 전류 고조파는 대부분 IEEE1547에서 제시하고 있는 고조파 제한치 이내로 나타났으나 일부 고차 고조파 차수인 24차~40차(32차 제외)에서는 약간 제한치를 넘어선 것으로 분석되었다.

표2와 표3은 분산형전원의 고조파 기준인 IEEE1547과 부하에 대한 고조파 기준인 IEEE519를 각각 보여준다. 두개의 기준 모두 짝수 고조파는 홀수 고조파의 25% 이하로 제한하고 있다.

〈표 2〉 IEEE1547 : 분산형전원에 대한 전류 고조파 기준

고조파차수	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
비율	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

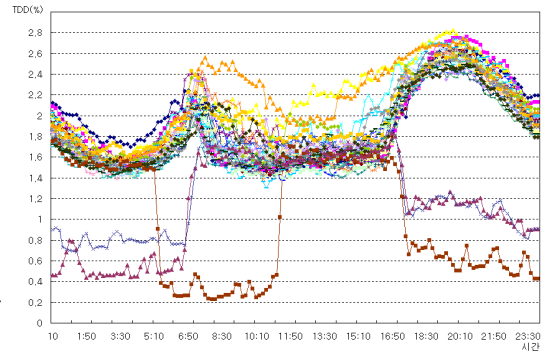
〈표 3〉 IEEE519 : 부하에 대한 전류 고조파 기준

고조파차수	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
비율	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0

여기서 주목할 부분은 IEEE1547은 분산형 전원에 대한 고조파 제한 기준을 IEEE519에서 제시하는 부하에 대한 제한 기준보다 가혹하게 적용하고 있음을 알 수 있다. 태양광발전과 같은 분산형 전원이 고조파를 발생시키는 다른 부하와 다른 점은 단지 전력을 소모하지 않고 발전한다는 것뿐이고 고조파를 유발시키는 원리나 영향은 같다고 할 수 있다. 그러나 IEEE1547에서는 부하에 대한 고조파 기준보다 분산형 전원에 대한 고조파 기준을 가혹하게 제한하고 있는 것이다.

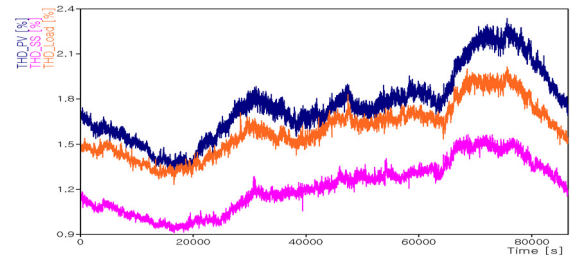
배전계통은 분산형전원과 부하가 산재해 있다. 따라서 본 대상 계통에서 태양광발전과 계통에 산재해 있는 부하에 따른 배전계통의 전체적인 고조파를 분석할 필요가 있다.

그림 4는 태양광발전소에서 측정된 1달 동안의 발전출력 전류에 대한 TDD(Total Demand Distortion)를 보여준다.



〈그림 4〉 1달 동안 태양광발전 출력 전류 TDD

전류 TDD는 대부분 비슷한 트렌드를 보여주고 있으며 전체 측정 기간 동안 TDD는 모두 5% 이하로 나타났다. 특이할 만한 사항은 전일동안의 TDD값이 태양광발전이 발전을 하는 시간대인 오전 6시부터 오후 6시까지의 TDD가 약간 상승하지만 태양광발전 출력이 없는 오후 6시 이후에 TDD가 더욱 크게 나타났다. 또한 태양광발전 출력이 없는 새벽에서 오전 6시까지는 가장 낮은 TDD값이 산출되었다. 이것은 배전계통의 부하 특성과 깊은 관련이 있는 것으로 사료된다.



〈그림 5〉 변전소, 태양광발전소, 선로말단에서의 전압 THD

그림 5는 MW태양광 실증연구단지가 연계되어 있는 변전소 인출단, 태양광발전소 고압 연계점, 배전선로 말단 고압 수용가에서 각각 측정된 전압 THD(Total Harmonic Distortion)를 보여준다. 전압 THD는 태양광발전 출력 전류 TDD와 비슷한 양상을 보인다. 즉, 새벽시간대, 태양광발전의 발전 시간대, 태양광발전 출력이 없는 저녁시간대 순으로 전압 THD가 높게 나타났다. 그리고 태양광발전 연계점, 고압 수용가, 변전소의 순으로 전압 THD가 높게 나타났다. 또한 변전소, 태양광발전소, 고압수용가에서 각각 측정된 전압 THD가 크기의 차이는 다소 있지만 전일 동안의 트렌드는 유사한 것을 분석되었다.

따라서, 태양광발전이 배전계통에 주입하는 고조파에 의해 계통의 전압 THD는 약간 상승한 했지만 전체적으로 배전계통의 전압 THD가 태양광발전 출력에 의한 것이라고 보기는 어렵다. 이 보다는 배전계통에 산재해 있는 고조파 유발 부하의 전일 동안 부하 특성이 배전계통의 전압 THD에 결정적인 영향을 미치는 것으로 분석할 수 있다. 왜냐하면, 태양광발전 출력이 없는 저녁시간대에 고조파를 유발하는 PC나 전자부하 등이 많아지는 특성이 있기 때문이다. 결국 배전계통 전체의 전기품질은 태양광발전의 출력 전류에 의해 계통에 주입되는 고조파보다는 배전계통에 산재되어 있는 비선형부하들에 의해 유발되는 고조파의 영향이 더욱 크게 받는다고 볼 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다수의 대용량 태양광발전 연계 배전계통에서 측정된 데이터를 바탕으로 태양광발전의 발전출력 특성과 고조파를 분석하였고 태양광발전이 계통으로 주입하는 고조파가 배전계통의 전기품질에 미치는 영향을 분석하였다.

대상 태양광발전의 전체 전류 고조파 TDD는 5%이하로 양호하나 각 차수별 고조파 중 일부 짝수 고조파가 기준을 초과하였다. 그러나 계통 전체의 고조파를 분석한 결과 배전계통의 전기품질은 태양광발전보다는 계통의 비선형부하에 의해 더욱 큰 영향을 받고 있는 것으로 분석되었다. 따라서, IEEE519와 IEEE1547에서 제시하고 있는바와 같이 분산형전원에 대한 고조파 관리 기준을 부하에 대한 고조파 관리 기준 보다 강화할 필요가 있는가에 대해 제고할 필요가 있다고 사료된다.