

분산전원 연계 운전 시 배전계통의 고조파 영향

박용업* · 강문호 · 윤기갑
한전 전력연구원

The effect of harmonics when the distributed generation is interconnected to the distribution system

Yong-Up Park*·Moon-Ho Kang·Gi-Gap Yoon
KEPRI

Abstract - The dispersed generation is recently increased introduction for the energy supply rationalization and effective management of power system. But the dispersed generation causes to the various trouble that isn't occurred in the past, for example, the two way systems have an effect on the mistake action of protection equipment and the power quality. In this paper, we research the influence on the harmonic when the dispersed generation is interconnected with distribution system. To achievement, we construct the interconnecting dispersed generation and distribution system which is applied to the permission of harmonic emission. After that, we simulate about the harmonic of distribution system interconnection dispersed generation by the PSCAD/ EMTDC analyzing transient state of the power system.

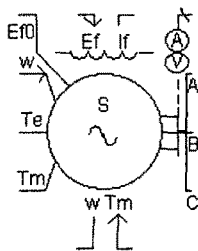
1. 서 론

최근 에너지 수급 합리화 및 계통 운영의 효율성을 위해서 분산전원의 도입이 증가하고 있는 추세이다. 그러나 이와 같은 분산전원은 기존에는 발생하지 않았던 여러 가지 문제들의 원인이 될 수 있다. 예를 들면 양방향 조류 시스템으로 인한 보호 기기들의 오동작이나 전력 품질 등에 미치는 영향을 들 수 있다. 이 중 전력품질은 최근 전력전자 소자를 이용한 전기기기의 도입 및 산업시설의 자동화, 대형화가 증가되고 있는 시점에서 매우 중요한 사항이다. 따라서 분산전원이 도입되었을 때, 계통의 안정적인 운영과 전력품질 저하로 인한 수용가의 피해를 방지하기 위해서 반드시 전력품질에 대한 규정을 마련해야 할 것이다. 본 논문에서는 분산전원 연계 운전 시 배전 계통에 미치는 고조파 영향에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해서 분산전원 및 이와 연계된 배전계통의 고조파 허용 기준치를 적용하여 계통을 구성 한 후, 연계 운전 시 고조파에 대한 시뮬레이션을 전력계통 과도현상 프로그램인 PSCAD/ EMTDC를 이용하여 진행하였다. 또한 30kW급의 분산전원이 연계되어 있는 전력시스템에서 실제로 고조파를 측정 한 결과를 시뮬레이션 결과와 비교 분석하였다.

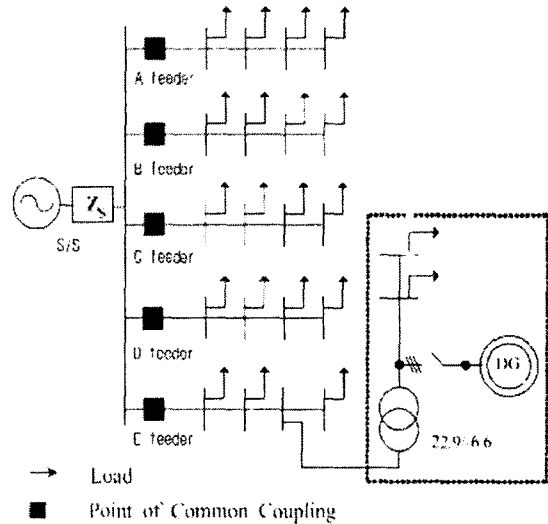
2. 본 론

2.1 분산전원 및 연계 계통 모델링

본 논문에서는 1MVA의 용량을 가지는 동기기를 선정하여 모델링 하였다. 일반적으로 동기 발전기의 출력 제어는 계자 전류를 통하여 그 출력 값을 제어하게 되면 발전기의 역률을 저하시키는 단점 때문에, 좀 더 효율적인 제어를 위하여 발전기 출력단 전압과 계통 전압 위상차 δ 를 조정한다. 그림 1은 동기발전기 모델과 Exciter 와 Governor 그리고 발전기 운전의 기계적인 부분을 제어해 주는 Multimass와 연계되는 부분을 나타낸 그림이다. 이 발전기는 그림 2와 같이 특정 부하 지역에 공용선 형태로 연계 되어 있으며, 승압 변압기를 통하여 전체 고압 배전 계통과 연계되어 있는 형태를 가지는 것으로 가정하였다.



〈그림 1〉 PSCAD/EMTDC 동기기 모델



〈그림 2〉 분산전원이 연계되어 있는 배전계통 단선도

2.2 고조파 발생 조건

계통의 고조파 전압은 고조파 전류로 인한 소스 임피던스의 전압강하에 의해 발생되는데, 본 논문에서는 시뮬레이션의 고조파 발생 조건 시 정상적인 계통 운영조건을 만족시키기 위해서 고조파 제한 값을 적용하였다. 고조파 전류를 나타내는 방법으로는 THD와 TDD를 사용할 수 있는데, THD는 부하전류의 크기에 따라 결과값이 바뀌는 단점을 가지고 있으며, TDD는 부하 역률에 따라 그 값이 바뀌게 되는 결점을 가지고 있다. 본 논문에서는 TDD를 이용하여 고조파 전류 제한치를 적용하고 있는 IEEE 519의 고조파 전류 및 전압 제한치를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 아래의 표 1과 2는 고조파 전압 및 전류 제한치를 나타내고 있으며, 식(1)과 (2)는 전류 TDD와 전압 THD를 산출하는 식이다.

〈표 1〉 전력계통 고조파 전류 제한치

I_n / I_L	V_n 69kV					
	$h \leq 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	TDD
≤ 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

〈표 2〉 전력계통 고조파 전압 제한치

PCC에서의 전압(V_n)	각 고조파의 전압 제한(%)	총 전압 왜형(THD _{vdl} %)
V_n 69kV	7.0	5.0
$69kV < V_n$ 161kV	1.5	2.5
V_n 161kV	1.0	1.5

Total Demand Distortion (i) =

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_L} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

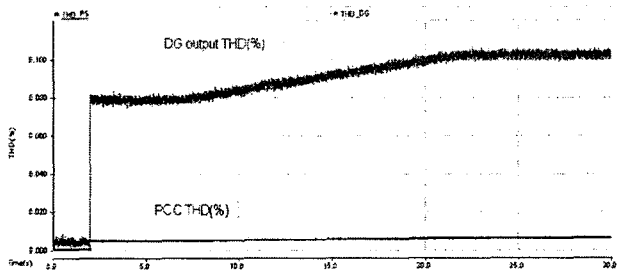
Total Harmonic Distortion (v) =

$$THD = \sqrt{\sum_{h=2}^H \left(\frac{Q_h}{Q_1}\right)^2} \quad (2)$$

위의 표에서 I_{sc} 는 단락전류이고, I_L 은 최대부하 전류이며, 두 값의 단락비에 따라 TDD의 제한치가 산출되어진다. 이를 국내 계통에 적용시켜 보면, 22.9kV 모선의 단락용량은 대부분 대략 200~400MVA 정도이기 때문에 Std.519의 고조파 전류 제한치를 국내 배전계통에 적용하기에 큰 무리가 없어 보인다. 다만 단락 용량은 배전선로의 말단으로 갈수록 급격히 감소하므로 변전소 인근에 있는 수용가에 비해 말단에 있는 수용가는 고조파의 유출을 엄격히 제한받을 것을 고려해야 한다. 또한 이와 같은 고조파 전류를 제한 할 때 각 차수별 고조파 전압 제한치 3%를 넘지 않도록 한다. 이와 같은 고조파 전류와 전압 제한치는 수용가의 PCC 지점에서 적용되어 고조파에 대한 규정을 적용받고 있으며, 본 논문에서는 모선과 배전 선로의 PCC 지점에서 적용하였다.

2.3 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 분산전원에서 발생하는 고조파가 계통에 미치는 영향을 알아보기 위해서 전력계통 과도 해석 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 계통의 전력품질 관리 측면에서 보면 계통의 고조파 전압이 중요한 사항이므로, 본 논문에서는 고조파 전압을 측정 하였다. 시험 조건은 분산전원에 의한 고조파 영향을 위해서 계통 부하는 R, L로 모델링 하였으며, 발전기는 2초에 계통과 연계하여 약 7초부터 출력을 증가하는 것으로 가정하였다. 또한 계통의 고조파 전압의 측정 지점은 분산전원의 출력단과 분산전원이 연계되어 있는 배전 선로의 PCC 지점에서 측정하였다. 아래 그림은 시뮬레이션 결과이다. 분산전원의 계통 연계 시 분산전원 출력단에서 고조파가 최대 4.24~5.06%까지 증가 하지만, 계통에 미치는 영향은 매우 작다는 것을 알 수 있다. 이는 분산전원의 소스 임피던스가 매우 크며, 변압기를 통해 계통으로 유입되는 과정에서 일부 고조파가 감소되기 때문으로 사료된다. 또한 고조파는 배전계통에 연계되어 있는 분산전원의 영향보다는 계통을 구성하고 있는 부하 특성 및 용량에 의해 그 특성이 결정된다. 전력 계통 전압 THD는 분산전원 가동 시 약간의 상승은 있었으나, 계통이 커지고 분산전원의 출력단과 측정지점이 멀어질수록 미치는 영향은 매우 작다는 결론을 얻었다.

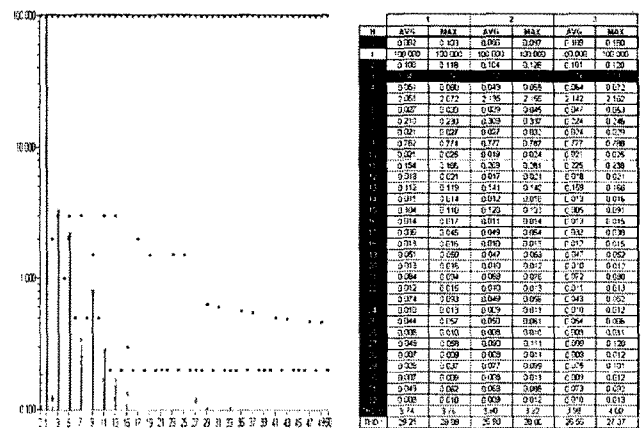
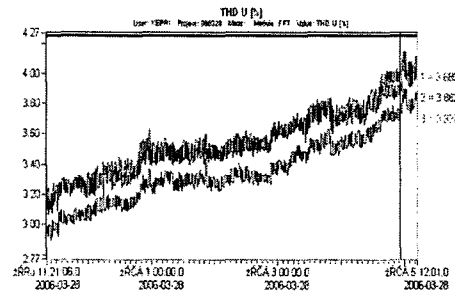


〈그림 3〉 분산전원 연계 시 THD(전압) 변동

2.4 실측 자료

30kW급의 동기발전기를 연계한 Microgrid 형태의 전력시스템에서 전력품질을 측정하였다. 이 계통의 현황을 살펴보면 B 변전소 (154kV/22.9kV)에서 배전선로를 통하여 Microgrid 시스템의 수전실의 주 변압기를 통하여 각 건물로 공급이 되는데, MGT는 750kVA 22.9kV/440/220V 변압기에 전동설비, 보일러설비, 시험설비 등의 부하설비들과 함께 계통에 연결되어 있다. 이 때 MGT의 출력단에서 고조파를 측정하였더니, MGT 기동전 전압 THD는 A상 약 3.4%, 기동 후 전압 THD는 3.5%로 약간 상승하였다. 또한 출력을 10kW로 낮추었을 경우에는 고조파 변동이 없었으며, 정지 시에는 3.2%로 낮아졌다. MGT 출력단에서의 기동전, 후 및 출력 변동에 따른 전압 THD의 변화는 0.2% 이내로 그 값이 매우 작다는 것을 알 수 있다. 주된 고조파는 3, 5, 7, 9, 11고조파이며 이들 고조파가 나머지 고조파의 95% 이상을 차지하였다. 다음으로는 내부 배전계통과 발전기가 연계되어 있는 모선에서 고조파를 측정하였다. MGT 기동전 전압 THD는 A상 약 2.7%~2.9%이며, 기동 시점에서의 전압 THD는 3.0%로 약간 상승하였고, MGT가 전력을 발생하여 계통에서 받는 전력이 감소하면서 Main TR 2차측에서의 고조파는 2.6%~2.8%를 나타내었다. MGT를 정지할 때 약 0.1%의 상승이 있었으나 MGT의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있다. 이 때에 발생하는 차수별 고조파의 종류는 제5고조파와 11고조파가 1%를 넘었으며 7, 13, 3, 9고조파가 그 뒤를 이어 0.5% 내외를 차지함을 알 수 있다.

마지막으로 내부배전계통의 주변압기 지난 22.9kV에서의 고조파를 측정 한 결과에서 MGT 전압 THD는 출력의 변화보다는 계통의 부하변동에 따라 약 최소 3%에서 최대 4%까지 점점 증가함을 알 수 있다. 또한 3, 5, 9 고조파가 1 고조파를 제외한 전체의 90%를 차지함을 알 수 있다. 아래 그림은 변압기 1차측에서 측정 한 고조파 전압의 THD이다.



〈그림 4〉 분산전원 연계 계통 PCC에서의 THD 측정결과

3. 결 론

최근 전력전자 소자를 이용한 전기기기의 도입 및 산업시설의 자동화, 대형화가 증가되고 있는 시점에서 계통의 효율적인 운영을 위해 여러 가지 장점을 가지고 있는 분산전원이 도입되었을 때, 전력계통의 안정적인 운영과 전력품질 저하로 인한 수용가의 피해를 방지하기 위해서 반드시 이에 대한 규정을 마련해야 할 것이다. 이와 같은 취지에서 본 논문에서는 분산전원 연계 운전 시 배전 계통에 미칠 수 있는 고조파 영향에 대한 연구를 진행하였다. 이를 위해서 IEEE 519에 규정되어 있는 전압 및 전류 고조파 제한치를 분산전원 및 연계 배전계통에 적용하여 계통을 구성 한 후, 연계 운전 시 고조파에 대한 시뮬레이션을 전력계통 과도현상 프로그램인 PSCAD/EMTDC를 이용하여 진행하였다. 또한 동기발전기 형태를 가지고 있는 30kW급의 분산전원이 연계되어 있는 배전 시스템에서 분산전원의 출력단 및 이와 연계되어 있는 PCC 지점에서 고조파 전압을 측정 한 결과와 비교 분석하였다. 분산전원의 전압 THD는 분산전원 가동 시 약간의 상승은 있었으나, 전체 배전 계통에 미치는 영향은 매우 작다는 것을 알게 되었다. 또한 계통이 커지고 분산전원의 출력단과 측정 지점이 멀어질수록 이에 미치는 고조파 영향 역시 작다는 결론을 얻었다. 향후에는 분산전원의 용량 및 연계 형태에 따른 고조파 영향 분석을 할 것이며, 고조파 영향 외에 플리커, 전압변동과 같은 다른 전력품질에 대한 연구를 진행 할 것이다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] IEEE Std. P519A-1996
- [2] 분산전원 계통연계 실증시험 및 기술지침 수립연구, 한국전력공사, 2005
- [3] IEC 614000-21
- [4] Mark McGranaghan, Overview of the Guide for Applying Harmonic Limits on Power System-IEEEP519A, 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 1998
- [5] 배전계통 고조파 관리기준, 산업자원부, 2005