

배전 계통의 고조파 측정 및 DB 구축에 대한 연구

박 용 업* · 강 문 호 · 조 남 훈
한전 전력연구원

A study on the measurement of harmonics in the distribution system and the configuration of DB

Yong-Up Park*·Moon-Ho Kang·Nam-Hoon Jo
KEPRI

Abstract - The equipment using the power electronic device is recently increased in the distribution system, so power utility and customers increase in concerning about harmonics level. Accordingly, The power utility which prepares a measure for the harmonic public standard and manage process must analysis of the harmonics level and the effect on equipment interconnecting distribution system. In the past, the measurement equipment and technique is imperfect, so very difficult to investigate the harmonics and trend. But the improvement of the measurement equipment recently is possible to obtain the data realtime for harmonic analysis. In this paper, we research the measuring domestic harmonic and constructing of DB based on the IEC standard.

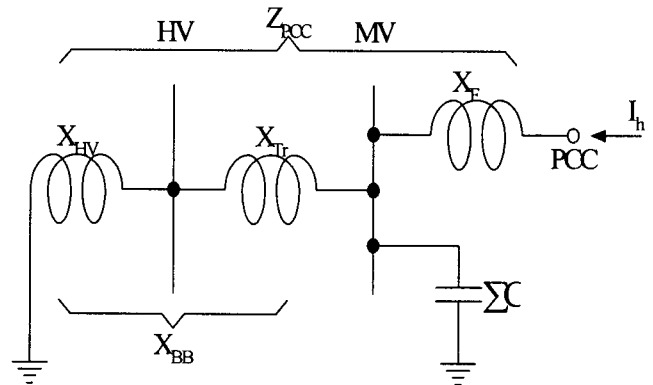
1. 서 론

최근 전력전자 소자를 이용한 기기의 보급이 확대됨에 따라 고조파의 피해가 늘어나고 있어 배전계통의 고조파 수준에 대한 전력회사와 수용가의 관심이 늘고 있다. 고조파는 전력계통내에 존재하는 공해와 같은 것으로 각종 사고 및 장애의 원인이 되고 있다. 또한 최근 인버터 에어컨, 세탁기 등과 같은 가전제품의 효율적인 제어를 위한 비선형 부하의 이용률 증대로 이들 기기로부터 발생하는 고조파로 인해 전력품질의 악화가 날로 심화되고 있다. 이에 대비하기 위해 선진 외국에서는 이미 배전계통의 고조파 계획레벨을 정하고, 이를 기반으로 고조파 허용기준치를 적용함으로써 고조파 관리에 무리한 노력을 하고 있다. 그러나 국내에서는 고압수용가에 대한 기준이 마련되어 있지만 실제 적용에 필요한 절차와 방안이 마련되지 않아 실제적인 적용이 제대로 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 일반적으로 수용가는 고조파 발생원이지만 고조파로 인한 직접적인 피해를 받고 있다. 그러나 고조파 억제에 대한 책임을 지지 않으며, 전력 회사로부터 품질이 높은 전력을 공급받기 원한다. 전력회사는 수많은 수용가에 의해 발생된 고조파를 억제시킬 제재 방안을 확실하게 갖고 있지 않은 상태에서 양질의 전력을 공급할 책임을 가지고 있다. 이러한 상황 때문에 고조파는 수용가와 전력회사 모두에게 민감한 사안이다. 따라서 전력회사는 이와 같은 고조파 관리기준 제정과 운영 과정상의 대책을 마련하기 위해서 배전계통의 고조파 수준과 이로 인한 배전계통 자체 및 연결된 기기들에 미치는 영향을 분석해야 한다. 과거에는 측정 장비와 기술의 미비로 간헐적인 측정에 그쳐 배전계통의 고조파 수준과 경향을 파악하는데 많은 어려움이 있었으나, 최근에는 측정기기의 기술 향상으로 고조파의 수준과 해석에 필요한 데이터를 실시간으로 취득할 수 있게 되었다. 따라서 본 논문에서는 IEC 기준을 연구하고, 이에 의거하여 국내 고조파 측정과 DB 구축에 대한 전반적인 사항에 대한 연구를 진행하였다.

2. 본 론

2.1 측정 위치

그림 1에서 XHV와 XTr은 각각 전원측 임피던스와 강압 변압기의 임피던스이다. XF는 선로 임피던스이고 이들을 합하여 Zpcc로 정의한다. 전력회사와 수용가가 만나는 PCC에서 전력회사는 일정 수준 이하의 고조파 전압 왜형을 유지해야 하고, 이를 위해 단락용량과 수용가의 부하 혹은 고조파를 발생하는 부하를 이용하여 고조파 발생을 억제하도록 계통을 설계하는 절차가 IEC 61000-3-6의 가장 핵심이다. IEC의 기본 개념을 반영하여 측정하기 위해서는 PCC에 해당하는 지점을 선정하여 측정기를 설치해야 하는데 현실적으로 이미 CT와 PT가 설치되어 있는 변전소에서만 가능하다. 배전선로 중간이나 말단에 별도의 PT와 CT를 설치해서 측정할 수 있지만, 비용과 현실적인 어려움 때문에 장기 측정용으로는 적합하지 않다. 피더들의 전류는 결국 모선 전류에 합쳐지기 때문에 한정된 채널수를 고려하여 모선의 전압과 전류만 측정하는 것이 현실적으로 적당할 것으로 생각된다.



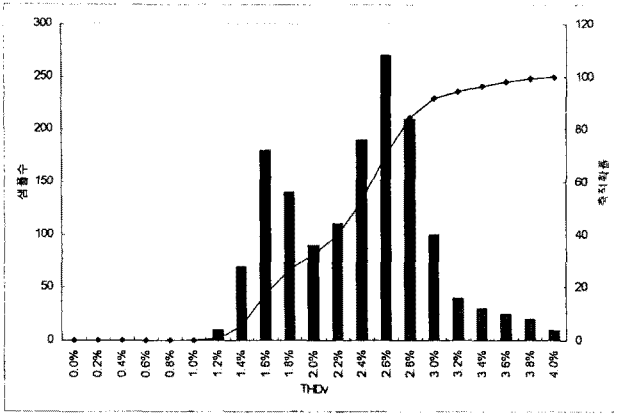
〈그림 1〉 IEC 61000-3-6의 기본 평가 모델

2.2 측정 및 데이터 처리 시간

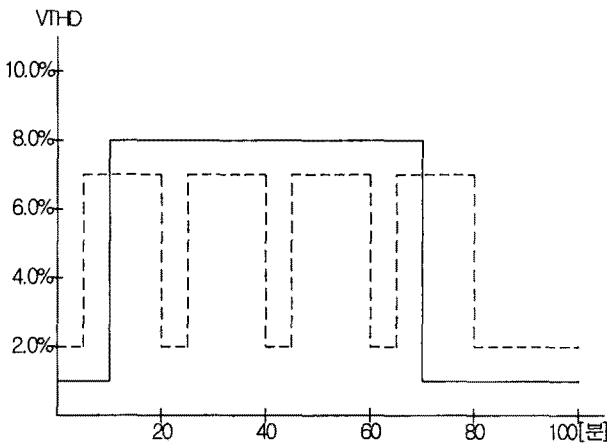
IEC 61000-3-6에서는 각 기기나 수용가가 발생시킨 고조파 전류는 전력회사 입장에서 일일이 제어할 수 없기 때문에 전력회사와 모든 수용가들의 PCC에서 일정한 수준의 전압의 질을 유지해야 한다고 규정한다. 따라서 PCC에서의 전압이 IEC 61000-3-6에서 정한 고조파 기준의 위반 여부를 판별하기 위한 측정이 필요한데, 이 때 고조파의 변화 속도에 따라 여러 형태로 구분하고 있다. 속도 변화에 따른 여러 형태 중 배전계통의 고조파 수준을 측정하는 것은 장기 측정이기 때문에 여러 형태 중 천천히 변하는 고조파를 반영한다. 국내 배전계통의 고조파 수준을 알기 위해 하는 측정은 IEC 61000-3-6에서 정의 한 천천히 변하는 고조파에 해당하며, 최소한 일주일 이상 측정해야 한다. 그 이유는 부하량과 부하 패턴 때문에 주말과 주중의 고조파 수준이 다르기 때문이다. 이와 같이 장기 측정을 목적으로 하는 경우, 데이터 처리를 하기 위한 시간 윈도우는 0.1초에서 0.5초의 크기를 갖고 중간에 간격을 포함할 수 있다. '3초'를 시간 윈도우 크기 6 사이클로 구성하려면 30개의 시간 윈도우가 필요하며, 12 사이클로 구성하려면 15개의 시간 윈도우가 필요하다. IEC 61000-4-7 (2002)에 근거한 측정 시간을 '10분'으로 잡았을 경우 '3초'와는 달리 이 측정시간은 'observation time'에 해당하기 때문에 시간 윈도우 사이에 간격이 존재해야 한다. 유효 측정 시간 사이의 간격에 따라 10분 사이의 유효 측정 수가 결정 될 수 있는데 최소한 100개 이상의 유효 측정시간으로 구성해 한다.

2.3 누적 확률 분포

IEC 61000-3-6에서는 전철에서 정리한 '3초'와 '10분'을 하루 혹은 일주일 단위로 누적한 누적확률분포를 이용한다. '3초'의 경우 95%의 누적확률치가 계획 레벨을 넘지 않아야 하는데 95%는 하루 중 23시간에 해당한다. 따라서 '3초' 이하의 시간동안 계획 레벨을 넘는 것이 허용되며, 계획 레벨을 넘는 시간의 합이 1시간까지 허용한다. 또한, '3초' 이하의 시간동안 기준의 1.5배까지 초과하는 것이 가능하다. 시각적이나 수치적으로 누적 확률 분포를 쉽게 이용할 수 있는 측면도 중요하지만 95%를 뺀 나머지 5%가 전력회사 입장에서 아주 중요하다. 고조파는 시간에 따라 변하기 때문에 3초 미만의 짧은 시간의 상승은 총 합으로 1시간까지 허용하고 있지만 그림 3과 같이 측정 확률 분포로는 1시간의 기준 초과가 한번에 1시간인 지 1분씩 60번인지 알 수 없다. 따라서 제한치를 넘는 간격과 크기를 배전계통에 연결된 기기의 특성에 맞추어 적용해야 한다. 시간에 따라 변화하는 고조파의 특성을 파악하는 것이 중요한 이유는 IEC 나 IEEE 기준을 적용해본 많은 전력회사에서 시간에 따라 변하는 고조파를 고정된 값을 가지고 있는 기준을 이용해 적용하는데 어려움을 느끼고 있기 때문이다. 따라서, 이러한 문제를 해소하기 위해 시간에 따라 변하는 고조파를 반영하여 기준에 포함시키기 위한 노력이 많이 IEC, IEEE, CIGRE 등에 보이고 있다.



〈그림 2〉 측정된 데이터의 누적 확률 분포



〈그림 3〉 누적확률 분포값의 사용 예

2.4 표본수 추출

전력계통 뿐만 아니라 많은 분야에서 통계적인 값을 필요로 할 때 모집단 전체를 이용할 수 없기 때문에 적절한 표본을 추출하여 사용한다. 본 논문에서는 추출 과정에서 특정한 경험과 지식이 포함되지 않는 비추관 추출이 사용되며, 이 중 가장 널리 사용되는 단순 확률추출법(simple random sampling)을 사용해서 표본을 추출할 것이다. 유한 모집단을 가지고 비복원 추출을 했을 경우 최종적인 표본수 결정식은 아래식과 같이 정리할 수 있다. 이와 같은 수식에서 적용된 표본수는 표본오차만 고려한 것이고 측정 과정에서 발생하는 측정 오차까지 고려하면 상당수의 측정기가 더 필요할 것으로 생각되어 필요한 표본수를 모두 측정한다는 것은 현실적으로 무리가 있다. 따라서 부하 형태별 분류를 한 후에 해당하는 대표 변전소를 선택하여 측정하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

표본수 결정식 =

$$n = \frac{N}{(N-1) \left(\frac{E}{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma} \right)^2 + 1}$$

변압기 표본수 =

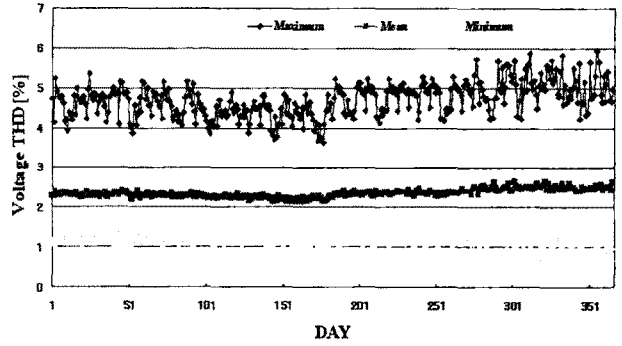
$$\frac{1000}{(1000-1) \left(\frac{0.001}{1.96 \cdot 0.01} \right)^2 + 1} \approx \frac{1000}{3.6} = 278$$

피더 표본수 =

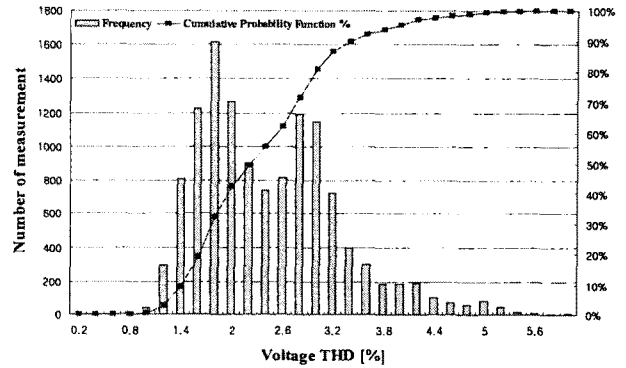
$$\frac{5303}{(5303-1) \left(\frac{0.001}{1.96 \cdot 0.01} \right)^2 + 1} \approx \frac{5303}{14.8} \approx 358$$

2.5 측정 데이터 결과

국내 MV 배전계통의 고조파 발생 수준과 영향 분석을 위해 부하 특성에 따라 공업용, 상업용, 주거용의 세 가지 분류에 의해 계측 표본을 정의 하였고, 이에 대한 공진, 오동작 원인, 기기의 수명감소 등과 같은 고조파 영향 평가 기준을 재분류하였다. 계측 기간은 1년 을 기준으로 3~5월을 봄, 6~8월을 여름, 9~11월을 가을, 12~2월 을 겨울로 분류 하였다. 측정 결과를 제시하기 위해 각 기준의 측정 결과에 대한 최대값, 평균값, 최소값을 분산형으로 나타내었고, 결과 에 대한 누적 확률 분포형을 나타내었다. 누적 확률 분포그래프에서 x축은 고조파 전압의 총 왜형률이고, 왼쪽 y축은 x축에 해당하는 샘플 수이다. 오른쪽 y축은 막대 그래프로 표현된 해당 샘플 수를 축적하여 [%]로 나타낸 것이다.



〈그림 4〉 VTHD의 최대, 평균, 최소값



〈그림 5〉 VTHD의 발생빈도와 누적분포

3. 결 론

본 논문에서는 고조파 수준과 이로 인한 배전계통 자체 및 연결 된 기기들에 미치는 영향 분석을 위해서 IEC 규준을 연구하고, 이 에 의거하여 국내 고조파 측정과 DB 구축에 대한 전반적인 사항에 대한 연구를 진행하였다. 차후 전력 시스템의 여러 조건들이 변동하 게 되고, 고조파에 대한 제한요소가 도입되어 이에 대한 규제가 강 화 될 경우, 그러한 조건에 적합한 데이터를 구축하기 위해 본 논문 의 내용을 계속 수정해 나아가야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Alex McEachern, "An International Approach for PQ Monitoring Standard", IEEE PES Volume VI, 63-65P, 2005
- [2] 배전계통 고조파 관리기준 연구, 2005. 2
- [3] IEC 61000-3-6(2002)
- [4] IEC 61000-4-7(2002)
- [5] A. Robert, "Supply Quality Issues at the Interface between Power system and Industrial Consumers", 8th International Conference Harmonic and PQ of power, 182-189, 1998