2003년도 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집(2003.11.13~15)

수용가별 발생하는 전압, 전류고조파의 측정 및 비교 분석

윤기갑, 조민호, 김상준, 장상옥, 안정식
한전전력연구원 전력계통연구실

A study on the measurements and analysis of harmonics obtained from each customers

Gi-Gab Yoon, Min-Ho Cho, Sang-Jun Kim, Sang-Ok Jang, Jeong-Shik Ahn
KEPRI Power System Lab.

Abstract - 본 논문에서는 현장측정을 통하여 수용가별(업무용, 주택용, 산업용)로 발생하는 전압, 전류고조파의 특성을 비교분석하였다. 특히 국내에서 규정되어 있지 않은 전류 고조파 종합왜형률(THD_i)과 더 향상된 방식인 전류 종합 부하왜형률(TDD_i)을 제시하여 THD_i와 비교하였다. 또한 50조파까지의 측정을 통해 향후 국내의 실정에 맞는 고조파 한계 기준에 적합한 설정치를 제시하였다.

1. 서 론

최근의 정보화 추세에 맞추어 첨단 정보통신기기 및 고정밀 산업시스템들이 서로 네트워크화, 대형화되어감에 따라 이들의 안정된 운전을 뒷받침 할 수 있는 고품질의 전원공급은 정보화 시대에 있어서 매우 핵심적인 사항이라 할 수 있다. 그동안의 기술개발과 설비투자에 의해 무정전, 정전압, 일정 주파수 문제의 경우 국내의 기술은 이미 선진국 수준에 도달되어 있지만 깨끗한 정현파 공급의 문제 즉 고조파의 문제는 그렇지 못한 것이 현실이다. 최근에 전력전자 소자를 이용한 기기의 보급이 확대됨에 따라 고조파의 피해가 늘어나고 있어 배전계통의 고조파 수준에 대한 전력회사와 수용가의 관심이 늘어나고 있다. 선진 외국에서는 이러한 필요성을 이미 인식하고 고조파 규제 관리 기준 등을 설정하여 전력설비에서의 고조파를 관리하는 한편, 고조파를 억제하기 위한 다양한 기술 개발에도 노력을 기울이고 있다. 하지만 고조파는 다양한 요소에 의해 발생되기도 하고, 영향을 받기도 하므로 간단한 수식이나 시뮬레이션만으로는 정확한 고조파 분석이나 평가를 기대하기 어렵다. 따라서 각 현장에서 직접 측정 장비를 이용하여 고조파를 실측하고 그 결과를 분석하여 각 현장에 알맞은 대책을 마련하는 것이 고조파 문제를 해결할 수 있는 방안이라 할 수 있다.

이와 같은 배경 하에 본 논문에서는 수용가별 고객 수전설비에 대한 고조파 실측을 통해 정확한 데이터를 수집 및 분석을 통하여 이에 대한 고조파의 문제점과 대응책을 찾고자 한다.

2. 본 론

2.1 고조파관리 기준치

(1) 국내의 고조파관리 기준치

현행 한국전력공사의 고조파 관리기준은 다음의 표와 같이 전압왜형률로 관리하고 있지만 전류왜형률로는 관리를 하고 있지 않는다. 전압왜형률은 66 kV 이하에서는 THD_V=3% 이하, 154 kV 이상에서는 THD_V=1.5 % 이하로 관리하고 있다.

표1 한국전력공사의 고조파 관리기준

계통 / 항목	지중선로가 있는 S/S에서 공급하는 고객		가공선로만 있는 S/S에서 공급하는 고객	
전압	전압왜형률 (%)	등가방해전류 (A)	전압왜형률 (%)	등가방해전류 (A)
66kV이하	3	-	3	-
154kV이상	1.5	3.8	1.5	-

(2) IEEE Std. 519의 고조파 관리기준치

IEEE Std. 519에서는 표2에서와 같이 THD_V=5%로 고조파전압을 제한하고 있으며, THD_i와 TDD_i 중에서 TDD_i를 선택하여 수용가의 고조파전류를 제한하고 있다. I_{sc}/I_L는 단락비로 단락용량이 높은 계통은 약한 계통보다 동일한 고조파 전류에 영향을 덜 받기 때문에 단락전류(I_{sc})가 시스템의 강인성을 나타내는 지표로 사용되고 부하전류는 시스템에 미치는 영향을 나타내기 때문에 단락전류와 부하전류의 비로 고조파 전류를 제한하고 있다.

표2 일반 배전계통에 대한 고조파 왜형률

PCC에서의 전압					THD_v	
V_n (120 V ~ 69 kV)					5.0	
I_{sc}/I_L	h <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

(3) IEEE P1547/D07의 고조파 관리기준치

IEEE P1547/D07는 표3에서 전류제한치 TDD_i=5%로 정의하여 적용하고 있다.

표3 IEEE P1547/D07 전류 왜형률

고조파 차수	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TDD
비율(%)	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0

2.2 고조파 종합 왜형률(THD)

고조파 종합 왜형률은 식(1)과 같다.
THD의 값이 크면 찌그러짐이 많은 파형이 되며, 0에 가까울수록 정현파에 근접한 파형을 얻을 수 있다.
고조파 종합 왜형률(Total Harmonic Distortion):

$$THD = \frac{\text{전고조파의 실효값}}{\text{기본파의 실효값}} \quad (1)$$

가. 전압 고조파

*전압 고조파 종합 왜형률(THD_V):

$$THDv = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} v_n^2}{v_1^2}} \times 100\,[\%] \quad (2)$$

(v_n :n차 고조파 전압 v_1 :기본파 전압)

전압 고조파를 각각 조파별로 제곱하여 합한 후 기본파 제곱으로 나눈 값에 루트를 적용하여 THD를 얻는다.

나. 전류 고조파

전류 제한치는 THD_i와 TDD_i를 사용할 수 있다. THD_i의 경우 식(3)에서와 같이 분자인 고조파 성분의 크기보다는 분모인 기본파 전류의 크기에 더 많은 영향을 받기 때문에 경부하와 중부하시 실제 고조파 왜형의 크기를 지수로 반영하기 힘들다. 이를 해결하고자 식(4)

와같이 기준이 되는 전류값으로 고정시켜 나누는 지수가 TDD_i이다.

*전류 고조파 종합 왜형률(THD_i):

$$THDi = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} i_n^2}{i_1^2}} \times 100[\%] \quad (3)$$

(i_n :n차 고조파 전류 i_1 :기본파 전류)

*전류 종합 부하 왜형률(TDD_i):

$$TDDi = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} i_n^2}}{I_L} \times 100[\%] \quad (4)$$

i_n :n차 고조파 전류

I_L :PCC(공통결합점)에서의 최대 부하전류. 이전 12달의 월간 최대 부하전류의 평균으로 계산하거나 추정해서 사용할 수 있다. 신규고객일 경우, 예상되는 부하곡선을 이용하여 최대 부하전류를 추정한다.

2.3 고조파 측정 및 분석

가. 측정위치 : 각 수용가의 고조파를 측정하기 위해서 계량기 2차측 단자에서 측정해야하는 것이 원칙이나 매번 계량기의 봉인을 제거해야 하는 어려움이 있기에 MOF 2차측 PT, CT단자에 전압프로브와 전류클램프를 연결하여 측정하였다.

나. 측정방식 : 3상이 평형하다는 가정 하에 3상중 한 상(A상)을 기준으로 하여 매 10분마다 1초씩 500k샘플링을 통해 50조파까지 전압 및 전류 파형을 3박 4일 동안 저장하였고 본 논문에서는 3박4일의 데이터 중 24시간 측정치를 대상으로 분석하였다.

(1)업무용수용

계약전력 4,000~11,500kW의 조명, 전동, 공조시설(냉,난방)등의 부하를 사용하는 백화점(갤러리아), 할인점(까르푸) 등에서 자료를 취득하였다.

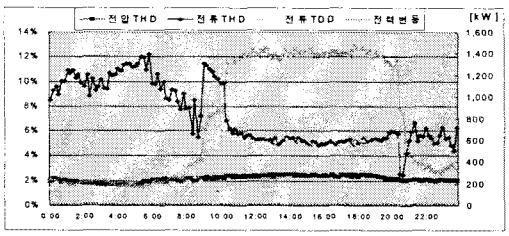


그림1 갤러리아백화점(계약전력 11,500kW)

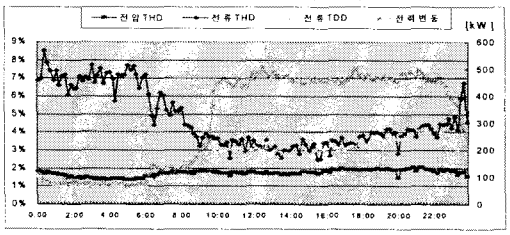


그림2 까르푸할인점(계약전력 3,500kW)

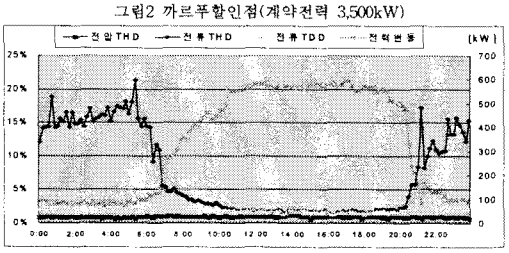


그림3 엑스포코아(계약전력 4,000kW)

8시경부터 20시까지 부하증가시 THD_V의 값과 TDD_i의 값이 증가하였다. THD_V 최대 값은 2% 내외로 국내 한계치 3%를 넘지 않고 있으며, 갤러리아의 경우 TDD_i는 6.4%로 한계기준 5%를 약간 넘는 수치였고 까르푸는 4.5%, 엑스포코아는 2.9%로 양호한 결과를 나타내었다. THD_i는 앞서 언급한대로 경부하운전시 입력전류에 대해 높은 THD를 갖지만 상대적으로 고조파 전류의 크기가 작기 때문에 경부하운전시에 실제 계통에는 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

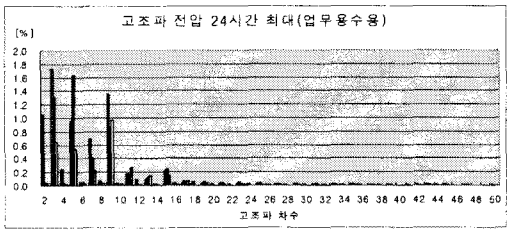


그림4 차수별 전압고조파 크기(갤러리아백화점, 까르푸할인점, 엑스포코아)

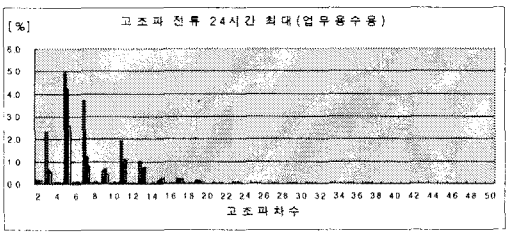


그림5 차수별 전류고조파 크기(갤러리아백화점, 까르푸할인점, 엑스포코아)

그림4, 그림5에서 전압고조파는 9조파, 전류 고조파는 13조파를 넘어서면 0.5% 이하로 됨을 알 수 있었다.

(2)주택용수용

계약전력 1,660~3,900kW의 조명, 가전제품, 엘리베이터 등의 부하를 사용하는 아파트(세종, 푸른, 엑스포텔)에서 자료를 취득하였다.

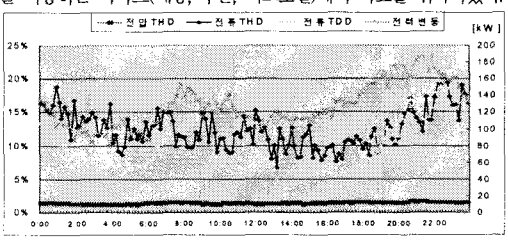


그림6 세종A(계약전력 2,750kW)

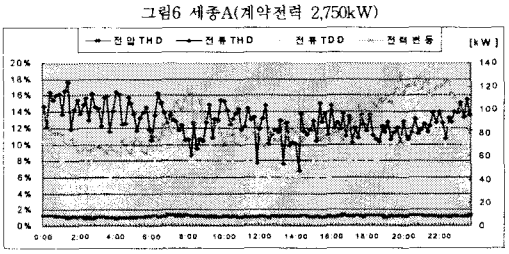


그림7 푸른A(계약전력 1,660kW)

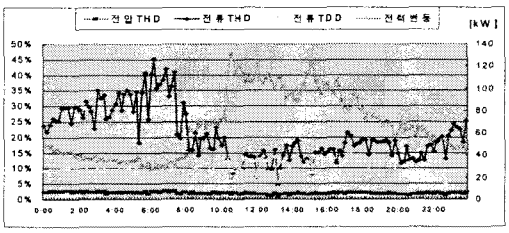


그림8 엑스포오피스텔(계약전력 3,900kW)

THD_V는 3% 이내로 안정된 값을 나타내고 있으나 TDD_i는 대부분의 시간대에 6%이상을 나타냈고 부하가 많이 사용되는 시간인 아침 출근시간과 저녁 18시 이후에 10% 이상의 TDD_i값을 갖고 있어서 이를 낮추고자 하는 개선이 필요하다.

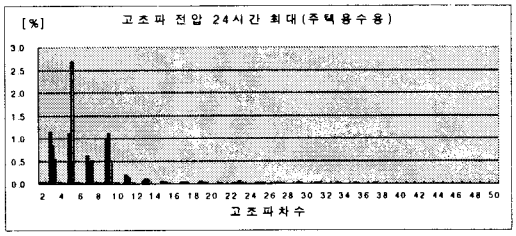


그림9 차수별 전압고조파 크기(세종A, 푸른A, 엑스포오피스텔)

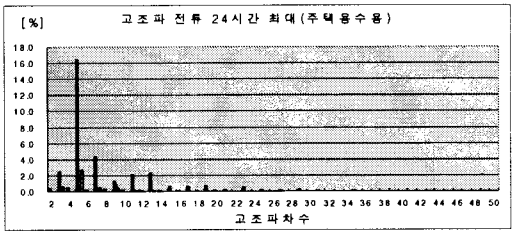


그림10 차수별 전류고조파크기(세종A, 푸른A, 엑스포오피스텔)

그림9, 그림10에서 전압고조파는 9조파, 전류고조파는 19조파를 넘어서면 0.5%이하로 됨을 알 수 있었다.

(3)산업용수용

계약전력 9,500~10,000kW의 반도체 제조용 유틸리티, 일반동력 등의 부하를 사용하는 반도체 제조회사(삼성전기, 스테코)에서 자료를 취득하였다.

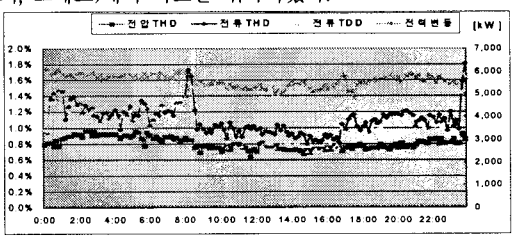
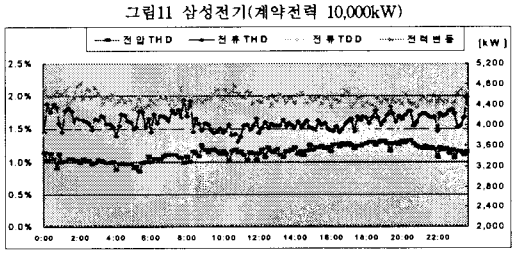


그림11 삼성전기(계약전력 10,000kW)



반도체를 생산하는 업체로서 생산제품의 특성상 회사 개별적으로 전압품질관리를 철저하게 관리하여 THD_V는 1.4%이내, TDD_i는 1.9%로 나타났다. 또한 24시간 교대 근무를 하기 때문에 특별한 부하의 변동은 없었다.

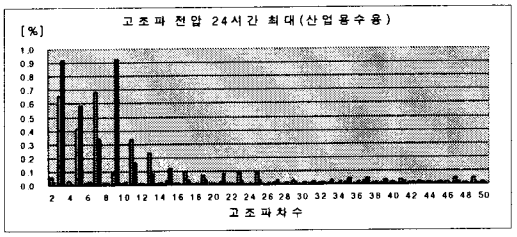


그림13 차수별 전압고조파 크기(삼성전기, 스테코)

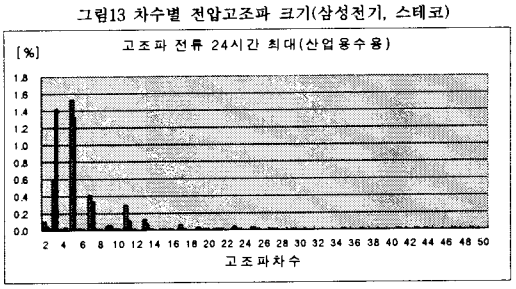


그림14 차수별 전류고조파 크기(삼성전기, 스테코)

그림13, 그림14에서 전압고조파는 9조파, 전류고조파는 7조파를 넘어서면 0.5%이하로 됨을 알 수 있었다.

3. 결 론

본 분석결과를 통해 THD_V, THD_i, TDD_i의 값과 부하 변동에 따른 고조파의 경향을 알 수 있었으며, 각 수용가별로 고조파에 포함된 THD_V의 한계와 TDD_i의 한계를 확인 할 수 있었다.

기존에는 고조파를 25조파 이내로 측정하였으나, 본 논문에서는 50조파까지 측정하여 실제적으로 25조파 이후의 고조파를 분석하였다. 대부분 21조파 이후부터는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보아 향후 고조파 분석은 21조파까지 분석하여도 무방한 것으로 사료된다.

THD_V의 경우 일반적으로 양호하여 THD_V 국내 한계치인 3% 이하를 나타내었다. 그러나 부하 말단으로 갈수록 특히 컴퓨터의 사용이 잦은 곳에서는 THD_V의 값이 5%까지 나타났다. TDD_i는 THD_i와 비교했을 때, 중부하에서는 서로 비슷한 값을 나타냈으나 경부하에서 신뢰도가 더 높았으며, 부하에 따라 TDD_i의 값은 허용한계치인 5%를 상회하는 수용가가 많았다.

고조파 관리시, 전압왜형률은 전력회사에서 계통운용에 필요한 관리 목표치이고, 전류 종합 왜형률은 각 전기설비로부터 전력계통에 유출하는 고조파 전류를 억제하기 위하여 관리하는 값이다.

배전계통 운용에 필요한 전압고조파 관리치 THD_V는 현행대로 최대 3%로 하고, 각 고객의 전력설비로부터 배전계통으로 유출하는 고조파 전류 기준치(TDD_i THD_i)는, 고조파 관리에 편하고 효율적인 IEEE P1547/D07 초안과 IEEE 519에서 규정한 고조파 전류 값으로 적용함이 바람직할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] IEEE Std. 519

[2] 김상준, 윤기갑 외"21C 고신뢰 고품질 신배전 계통 구축 연구" 최종보고서, 전력연구원 2003

[3] "전기사용장소의 고조파 장해 분석 연구" 최종보고서, 전기안전공사

[4] "배전선로의 고조파 영향 분석 연구" 최종보고서, 전력연구원

[5] 일본의 고조파 관리 현황, 2002.11

[6] IEEE P1547/D07