

저압 전원계통에서 고조파 양상의 분석에 관한 연구

(A Study on the Analysis of Harmonics Aspects on Low-voltage AC Mains)

이복희 · 백영환*

(Bok-Hee Lee · Young-Hwan Back)

Abstract

This paper presents the aspect and distribution of voltage and current harmonics being made at low voltage power systems. The voltage and current harmonics in power systems supplying various loads were monitored and analyzed. We have examined the results compared to advanced countries' harmonics control standards. As a result, the current harmonics were significantly greater than the voltage harmonics. In particular, the harmonics of currents flowing through loads with power switching electronics was pronounced. Also, the contents of current harmonics of street lamp circuits was about 30 %, and it was decreased to 12.3 % with the installation of series reactor. On the whole, The measured results of voltage and current harmonics exceeds the regulation limits recommended by IEEE Std 519-1992.

1. 서 론

현대의 고도 정보화 사회에서 전기에너지는 사용이 편리하고 청정한 에너지로 국가산업의 원동력이 되는 가장 중요한 에너지원이 되었다. 그러나 최근 반도체 응용기술을 도입한 산업기기, 가전제품, FA 및 OA기기, 무정전 전원장치 등의 급속한 보급은 이러한 기기들로부터 발생하는 고조파라고 하는 새로운 문제를 발생시키게 되었다.

본 연구에서는 저압 전원계통에 피급되는 고조파의 저감대책을 위한 기초적인 연구로써 고조파에 대한 실제의 저압 전원계통에 발생하고 있는 고조파의 양상을 분석하는데 그 목적이 있다.

이러한 연구목적의 달성을 위하여 우선적으로 고조파가 전원계통 및 부하기에 미치는 영향을 분석하였으며, 또한 전력분석기를 이용하여 여러 가지 형태의 수용가의 전원계통에서 나타나는 고조파의 양상을 측정하고 분석 하고자 약 10여 곳의 수용가를 선정하여 각각의 부하의 종류에 따른 고조파의 양상을 비교 분석 하였다.

2. 본 론

2.1. 실험장지

그림 1에 나타낸 3상 전력분석기는 휴대용 모델로써 3상 전압 및 전류의 파형과 THD, 역률, DPF, 위상 등의 분석이 가능하다. 또 한 번들로 제공되는 프로그램을 이용하면 저장된 데이터로부터 여러 특성 값들을 비교하여 분석할 수 있다.



그림 1. 본 연구에 적용한 3상 전력분석기
Fig. 1. 3-phase power analyzer used in this work

2.2. 실험방법

실험은 운전중인 수용가의 전력설비를 대상으로 수행하였다. 각각의 부하설비에 따른 고조파 발생 정도를 3상 전력분석기를 사용하여 측정하고, 업종별로 분류하여 고조파 발생현황을 분석하였다. 고조파 성분은 측정대상에 따라 가장 큰 고조파(대부분 3고조파 또는 5고조파 성분)성분을 중점적으로 분석하였다. 그림 2에는 22.9 kV 배전선로로부터 3상 전력을 수전하는 수용가의 변압기 2차측에서 전력분석기를 사용하여 고조파 특성을 측정하는 사진을 나타내었다. 각 상에는 전압 프로브를 접속하고, 각 선에는 선 전류를 측정할 수 있도록 CT를 접속하여 전압파형과 전류파형을 동시에 측정한다.

본 연구를 통하여 전압과 전류의 THD와 각 고조파 성분의 조성, 그리고 전류의 THD에 따른 전력손실에 있다. 현재 고조파에 대한 규제는 주로 전압에 대하여 이루어지고 있는 실정이며, 전류의 고조파에 대한 규제는 거의 문제시 하고 있지 않다. 또한 고조파의 저감이 소비전력 저감에 어느 정도의 효과가 있는지를 분석하기 위해서 단상 전원계통에서 고조파 억

제용 직렬리액터를 설치하여 리액터 설치 전의 전류고조파 함유율과 설치 후의 함유율, 그리고 소비전력을 구분하여 측정하였으며, 상호 연관성을 분석하였다.

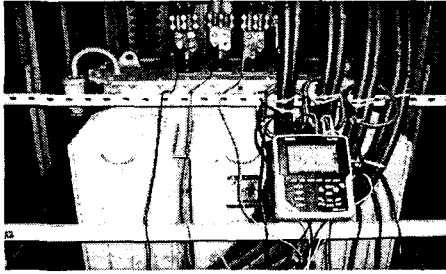


그림 2. 3상 4선식 전원 계통의 고조파 측정 사진
Fig. 2. Photograph of measuring harmonics in 3-phase 4-wires power system

3. 실험결과 및 고찰

3.1. PC방 전원선의 고조파 분석

PC방의 경우는 여러 대의 컴퓨터가 주요 부하로 작용하므로 고조파의 저감에 주의가 필요한 부하의 하나이다. 전압의 3고조파 성분은 기본파성분의 5.3~5.9 % 정도이었다.

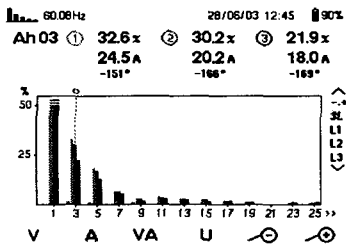


그림 3. PC방 전원선에 전류에 포함된 고조파
Fig. 3. Harmonics of voltages and currents measured at the PC room power lines

그림 3에 나타낸 바와 같이 각 선 전류 당 3고조파 성분은 기본파 성분의 21.9~32.6 % 정도로 측정되었다. 측정된 전원선의 전류 파형으로부터 PC방의 전력품질은 특히 전류에 고조파 성분이 다량 포함되어 있으며, 전류 파형의 왜곡 정도가 매우 심한 것으로 나타났다.

3.2. D병원 전원선의 고조파 분석

그림 4에서 나타낸 바와 같이 전류의 5고조파 성분이 비교적 작은 반면 7고조파 성분과 17고조파 성분이 크게 측정되었으며 3고조파 성분이 가장 크게 나타났다. 이례적으로 2고조파 성분도 다소 존재하는 것으로 측정되었다. 전류에서의 3고조파 함유율은 최대 17.3 %로 상당히 크게 존재하고 있음을 알 수 있다. 전류파형의 THD는 16.8~21.9 %로 측정되었으며, 전압파형의 THD는 약 1.5 % 정도로 측정되었다.

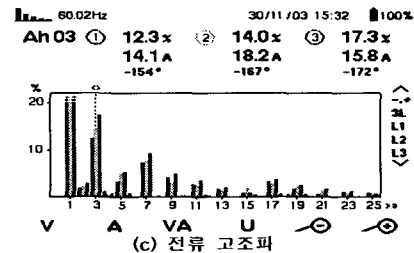
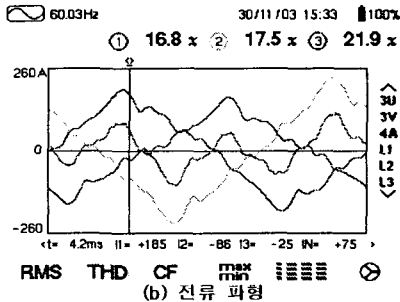
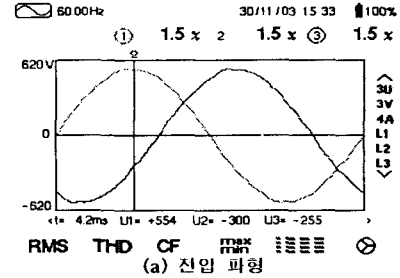


그림 4. D병원의 전원선 전류에 포함된 고조파
Fig. 4. Harmonics of voltages and currents measured at the D-hospital power lines

3.3. D빌딩 전원선의 고조파 분석

상가가 주로 입주한 건물의 수전설비 전원선에 흐르는 전류의 고조파 성분을 그림 5에 나타내었다. 전압에서는 3고조파 성분과 5고조파 성분이 비교적 크게 측정되었으며, 기본파 성분에 대한 비율은 3고조파의 경우 31~3.4 %, 5고조파의 경우 1.9~2.1 %로 나타났다. 전류에서는 고조파 함유율이 매우 크게 나타났으며, 3고조파의 함유율은 30.4~42.5 % 이었다. 또한 5고조파 성분의 함유율도 상당히 커서 약 21.2~31.1 %로 측정되었다.

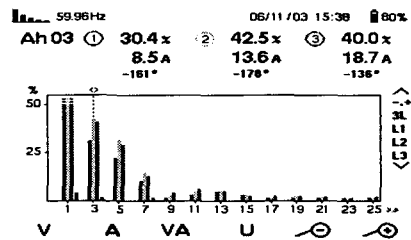


그림 5. D빌딩의 전원선 전류에 포함된 고조파
Fig. 5. Harmonics of currents measured at D-building power lines

3.4. S공장 전원선의 고조파 분석

그림 6에서 나타난 전류에서는 13고조파까지의 기수고조파 성분이 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 전류고조파 함유율은 전압에 비하여 큰 값으로 측정 되었으며, 3고조파와 5고조파 함유율은 각각 2.8~7.3 %, 0.8~3.2 %로 비교적 낮게 측정되었다.

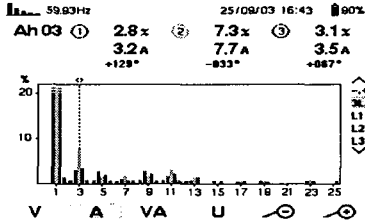


그림 6. S공장의 전원선 전류에 포함된 고조파
Fig. 6. Harmonics of currents measured at power lines of S-factory

고조파 함유율이 적게 나타나는 이유는 공장의 부하가 주로 3상 전동기 부하로써 부하의 불평형정도가 크지 않고, 각각의 전동기 제어가 인버터를 사용하지 않고 있기 때문인 것으로 분석되었다. 따라서 D빌딩의 경우에 비하여 전류고조파가 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.5. 가로등 전원선의 고조파 분석 및 리액터를 이용한 저감효과

단상 전원을 사용하는 가로등용 전원선에 흐르는 전류의 고조파 성분에 대한 히스토그램을 그림 7에 나타내었다.

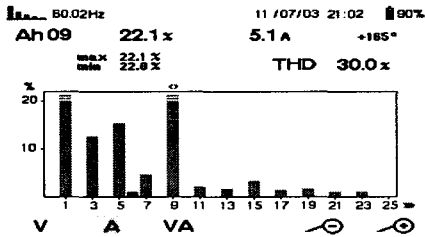


그림 7. 가로등 전원선 전류에 포함된 고조파
Fig. 7. Harmonics of the current flowing through street lamps power lines

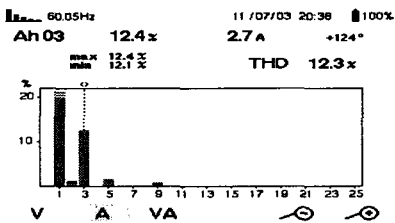


그림 8. 직렬리액터 설치 후 전류 고조파
Fig. 8. Current harmonics after the installation of series reactor

9고조파의 함유율이 기본파에 대하여 약 22 %에 달하며, 3고조파 및 5고조파 성분도 다량 포함되어 있음을 알 수 있다. THD의 경우도 30 %로 상당히 크게 나타나고 있다.

본 연구에서는 단상 리액터를 가로등용 전원선에 설치하여 고조파를 저감시킨 결과 그림 8과 같이 5고조파 및 9고조파가 크게 저감되는 효과를 얻었다. 직렬 리액터를 설치함에 따라 얻을 수 있는 소비전력의 절감은 리액터를 설치하기 전에 측정된 소비전력량은 약 5.27 kW로 측정되었으나 리액터를 설치한 후에는 약 4.82 kW로 측정되어 소비전력 측면에서 약 8.5 %의 절감효과를 얻었다.

3.6. 고조파 억제기준의 검토

우리나라의 저압 전원선의 전압과 전류에 대한 고조파 억제기준에 대한 공인규격은 없으며 고조파에 대한 IEEE-519규격의 이점은 다음과 같다.

- (1) 전류 왜형률을 규정하여 어느 한 수용가가 계통이 흡수할 수 있는 고조파 흡수 능력을 다 사용할 수 없도록 한다.
- (2) 수용가의 계약용량 (또는 최대수요)이 작은 수용가에 대해서는 계약용량이 큰 수용가에 비해서 고조파 전류 유입량 제한치를 완화시켜 주고 있다.

현재 고조파 제한의 기준으로 널리 사용되고 있는 IEEE Std. 519-1992에서는 120~69,000 V 계통과 69,000~161,000 V 계통에 대한 고조파 전류 및 전압의 규제는 표1, 표2와 같다.

표 1. 고조파 전류의 왜형률에 대한 규제치(기본파 전류에 대한 비율 %)
Table 1. Regulation limits for distortion factors of harmonic current

SCR = I_{sc}/I_L	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD
20이하	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
1000이상	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Is : 단락전류 (120 V~69 kV 일 경우)

IL: 부하전류 h: 고조파 차수 THD: 종합 고조파 왜형률

표 2. 고조파 전압 왜형률 규제치(기본파 전압에 대한 비율 %)
Table 2. Regulation limits for distortion factors of harmonic voltages

구 분	각 고조파 전압 왜형률	총 전압왜형률 THD
69 kV 이하	3.0	5.0
69 kV~161 kV	1.5	2.5
161 kV 이상	1.0	1.5

3.7. 국제 고조파 제한규정에 의거한 측정 결과 검토

본 연구에서 측정된 여러 장소의 고조파 결과를 요약하여 표 3에 나타내었다. 측정된 3개소의 전압 THD는 최대값이 2.3 %로 국내 및 국제 규제값을 만족하고 있다.

표 3. 부하별 전압과 전류 고조파 함유율
Table 3. Voltage and current harmonics by loads

업체	설비 용량	임피던스 [%]	전압 THD [%]	전류 THD [%]	용도
D 병원	200 [kVA]	4.02	1.5~1.6	15.7~20.3	*의료시설 *△ - Y방식
D 빌딩	143 [kW]	4.16	2.0~2.3	50.7~57.1	*PC방, 오락실 *△ - Y방식
S 공장	225 [kVA]	4.00	0.6~0.8	4.1~7.6	*섬유업체 *△ - Y방식

IEEE에서 규제하는 고조파 전류에 대한 사항은 표1 에서 알 수 있듯이 SCR에서 20이하인 경우에 THD는 5 %이하로 규제하고 있으며, 1000이상인 경우도 20 %이하로 규제하고 있다. 이러한 규제 값과 비교해 볼 때 대부분의 측정 장소는 종합 고조파 전류 왜형률에서 IEEE의 규제 값을 넘고 있으며, D빌딩의 경우는 규제 값의 2.5배에 달하는 매우 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 전기에너지 관련 시장이 국제화 되고 있으며, 관련규제 또한 IEC를 비롯한 국제 규격으로 개정되어 가는 현 시점에서 국내의 수용가에서 종합 고조파 전류 왜형률에 대한 저감은 꼭 필요한 분야이다.

4. 결 론

자가용 수용가의 저압 모선의 전압과 전류의 고조파 측정 결과를 분석 한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전력전자 소자를 많이 사용하는 PC방, 전자오락실, 형광등용 부하를 많이 사용하는 건물이나 업종의 전원선에 고조파가 많이 함유 되어있는 것으로 분석되었다.

(2) 측정대상 장소의 대부분이 전압에 대한 고조파 함유율은 국제 규제값에 만족할 만한 수준이었으나, 상대적으로 전류에 대한 고조파 함유율이나 THD는 매우 크게 측정되었다.

(3) 가로등 전원선에 흐르는 전류의 THD가 30 %이며, 9고조파의 함유율이 22 %에 달하는 시험장소에 고조파 전류 저감용 직렬리액터를 설치한바 9고조파는 크게 저감되어 거의 나타나지 않았으며, THD를 12.3 %로 저감시키는 효과를 얻었다.

본 연구결과를 통하여 얻은 수용가 전원계통의 고조파 양

상과 전류 고조파의 저감에 효과적인 직렬리액터의 적용을 통하여 얻은 실험적인 데이터는 전기의 품질개선을 위한 연구 분야에 참고자료를 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라구축 지원사업의 지원에 의하여 수행된 연구결과입니다.

참 고 문 헌

- (1) 한국전력기술인협회지, "고조파방지대책 KEEA-30-04", pp.4~32, 2000.9.
- (2) 전력전자학회지, "계통 고조파현상의 원인 및 대책", pp.29~37, 2000.2.
- (3) 한국전선공업, "특집 고조파 사고와 대책", pp.86~149, 2000.3
- (4) IEEE Industry Applications Society & Power Engineering Society "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power System, IEEE Std 519-1992