

저압 전원선의 고조파 분석

이 복희*, 백영환*

* 인하대학교,

A Study on the Analysis of Harmonics on Low-voltage AC Lines

B. H. Lee*, Y. H. Baek*

*Inha University,

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 에너지자원이 되었다. 이러한 전기에너지를 근간으로 하여 최근 급속도로 발전하고 있는 컴퓨터를 비롯한 전자제어, 통신기기의 보급은 보다 안정적인 고품질의 전원 공급을 요구하고 있다. 기존의 전력품질은 주로 무정전의 전력의 공급에 중점을 두었지만 현대의 고도 정보화 사회에서의 전력품질은 전압, 주파수, 무정전의 범주가 보다 확대되어 고조파의 문제까지도 중요하게 다루고 있다.

본 연구에서는 저압 전원선에 발생하는 고조파의 저감 대책을 위한 기초적인 연구로써 저압 전원선에 발생하고 있는 고조파의 양상을 분석할 목적으로 여러 가지 형태 부하설비의 전원선에 나타나는 고조파를 측정하고 고조파가 전원선 및 부하기기에 미치는 영향을 분석하였다.

또한 선진국의 고조파억제기준에 대하여 각각으로 조사 및 검토하였다.

2. 본 론

2.1. 측정장치

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



그림 1. 본 연구에 사용한 3상 전력분석기
Fig.1.3-phase power analyzer used in this work

2.2. 측정방법

실험은 운전 중인 수용가의 전력설비를 대상으로 수행하였다. 여러 가지 부하설비에 대한 고조파 발생 양을 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 배전선으로부터 3상 전력을 수전하는 수용기의 변압기 2차측에서 전력분석기를 사용하여 고조파 성분을 측정하는 사진을 나타내었다.

각 상에는 전압프로브를 접속하고, 각 선에는 선 전류를 측정할 수 있도록 CT를 접속하여 전압 파형과 전류 파형을 동시에 측정한다.

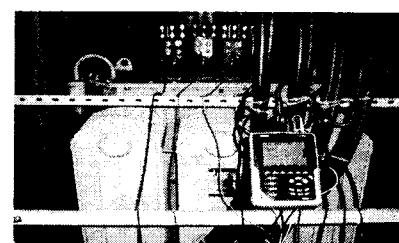


그림 2.3상 4선식 전원계통의 고조파 측정에 대한 사진
Fig.2. Photograph of measuring harmonics in 3-phase 4-wires power system

본 연구를 통하여 전원 계통의 고조파 분석에서 중점적으로 수행하고자 하는 내용은 전압과 전류의 THD, 각 고조파 성분의 조성, 그리고 전류의 THD에 따른 전력 손실이다.

현재 우리나라의 고조파에 대한 규제는 전압에 대하여 이루어지고 있는 실정이며, 전류의 고조파에 대한 규제는 거의 문제시 하고 있지 않다.

하지만 전류에 고조파 성분이 많이 포함되는 경우 전력 손실이 증가하며 이와 더불어 전류에 의해 동작하는

각종 계전기의 오동작이 발생할 수 있으므로 본 연구에서는 전압의 고조파 양상과 더불어 전류의 고조파 양상에 대한 측정도 병행하였다.

또한 고조파의 저감이 소비전력 저감에 어느 정도의 효과가 있는지를 분석하기 위해서 단상 전원계통에서 고조파 억제용 직렬 리액터를 설치하여 리액터 설치 전의 전류 고조파함유율과 설치 후의 함유율, 그리고 소비 전력을 구분하여 측정하였으며, 상호 연관성을 분석 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 K학교 전원선의 고조파 분석

인천광역시 K학교 전원선의 고조파 특성을 분석한 결과를 그림 3에 나타내었다.

전류에서는 3고조파 성분이 가장 크게 나타났으며, 기본파에 대한 비율은 11.3~18.7%로 측정되었다. 3고조파 및 5고조파 성분도 부하전류의 크기에 비례하여 크게 측정되었다.

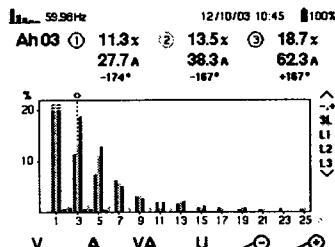


그림 3. K학교 전원선에 측정된 고조파

Fig. 3 Harmonics of currents measured at power lines of K-school

3.2. P지하상가 전원선의 고조파 분석

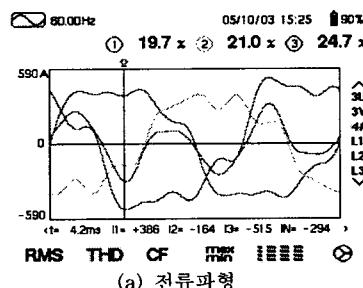
P지하상가에서 측정된 전류의 파형을 그림4에 나타내었다.

파형으로부터 알 수 있듯이 전류고조파 함유율이 크게 나타나고 있는데 이와 같은 이유는 많은 수의 형광등용 안정기, 공조장치 등의 사용으로 고조파 전류가 매우 크게 나타나는 것으로 분석되었다.

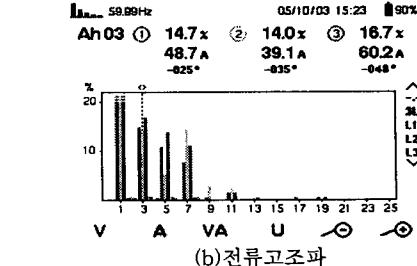
전류 고조파 함유율은 전압에 비하여 큰 값으로 측정되었으며, 3고조파, 5고조파, 7고조파 전류의 함유율은 각각 14.0~16.7%, 4.9~12.9%, 7.6~14.4%로 측정되었다.

각각의 측정결과로부터 전압의 고조파 왜곡정도는 2.0% 이하이나 전류 파형에서는 왜곡정도가 매우 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

따라서 부하의 불평형 정도를 줄이고 전류 고조파를 저감시키는 노력이 필요한 것으로 판단된다. .



(a) 전류파형



(b) 전류고조파

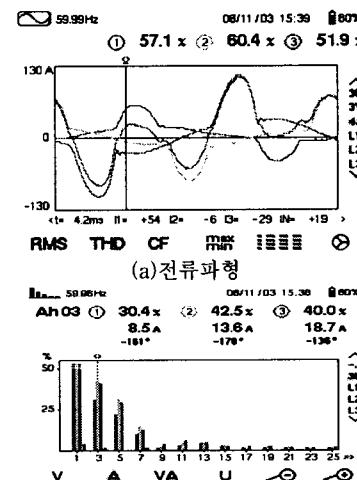
그림 4. P지하상가 전원선 전류의 고조파 및 파형

Fig. 4. Waveforms and Harmonics currents measured at power line of P-underground arcade

3.3. D빌딩 전원선의 고조파 분석

상가가 주로 입주한 건물의 수전설비 전원선에 흐르는 전류의 고조파 성분을 그림 5에 나타내었다.

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.



(a) 전류파형

그림 5. D빌딩의 전원선 전류에 포함된 고조파 및 파형

Fig. 5. Waveforms and Harmonics currents measured at D-building power lines

3.4. 빙전등 전원선의 고조파 분석 및 리액터를 이용한 저감효과

단상 전원을 사용하는 가로등용 전원선에 흐르는 전류의 고조파 성분에 대한 히스토그램을 그림 6에 나타내었다.

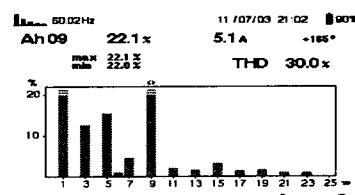


그림 6. 가로등 전원선 전류에 포함된 고조파

Fig. 6. Harmonics of the current passing through street lamp power line

9고조파의 함유율이 기본파에 대하여 약 22%에 달하며, 3

고조파 및 5고조파 성분도 다량 포함되어 있음을 알 수 있다. THD의 경우도 30%로 상당히 크게 나타나고 있다.

단상 리액터를 가로등용 전원선에 설치하여 고조파를 저감시킨 결과 그림 6과 같이 5고조파 및 9고조파가 크게 저감되는 효과를 얻었다.

결과적으로 가장 큰 제3고조파 성분이 약 12.4%로 측정되었으며, THD의 경우도 12.3%로 저감되어 직렬리액터가 전류 고조파 저감에 매우 효과적임을 확인하였다.

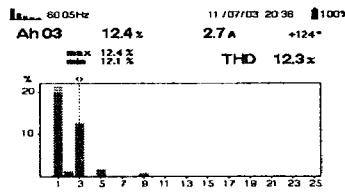


그림 7. 직렬리액터 설치 후 전류 고조파
Fig. 7. Current harmonics after the installation
of series reactor

직렬 리액터를 설치함에 따라 얻을 수 있는 소비전력의 절감은 리액터를 설치하기 전에 측정한 소비전력량은 약 5.27 [kW]로 측정되었으나 리액터를 설치한 후에는 약 4.82 [kW]로 측정되어 소비전력 측면에서 약 8.5%의 절감효과를 얻었다.

3.5. 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 수용자가 계통이 흡수 할 수 있는 고조파 흡수 능력을 다 사용할 수 있도록 한다.

(2) 수용자의 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 120~69,000V 계통과 69,000~161,000V 계통에 대한 고조파전류 규제는 표1과 같다.

표 1. 고조파 전류의 왜형률에 대한 규제치

(기본파 전류에 대한 비율%)

Table 1 Regulation limits for distortion factors of harmonic current

$\frac{SCR}{I_{SC}/I_L}$	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	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

Isc : 단락전류 (120V~69kV 일 경우)

II:부하전류 h:고조파 차수 THD:종합 고조파 왜형률

3.6. 국제 고조파 제한규정에 의거한 측정 결과의 검토

본 연구에서 측정한 여러 장소의 고조파 결과를 요약하여 표 2에 나타내었다. 측정한 3개소의 전압 THD는 최대값이

2.3%로 국내 및 국제 규제값을 만족하고 있다.

표 2. 부하별 전압과 전류 고조파 함유율

Table 2. Present status of voltage and current harmonics by leads

업체	설비 용량	임피던스 [%]	전압 THD [%]	전류 THD [%]	용도
K 학교	400 [kVA]	4.70	1.8~2.2	17.6~28.9	*교육기관 *△ Y방식
P 지하	450 [kVA]	4.70	1.7~2.0	20.7~25.5	*상가 *△ Y방식
D 빌딩	143 [kW]	4.16	2.0~2.3	50.7~57.1	*PC방, 오락실 *△ Y방식

대부분의 측정 장소는 종합 고조파 전류 왜형률에서 IEEE의 규제 값과 넘고 있으며, D빌딩의 경우는 규제 값의 약 2.5배에 달하는 매우 큰 값으로 나타났다.

따라서 전기에너지 관련 시장이 국제화되고 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 모선에 흐르는 전류의 고조파 측정결과를 분석 한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 전력전자 소자를 많이 사용하는 PC방, 전자오락실, 형광등과 같은 부하를 많이 사용하는 건물의 전원선에 고조파가 많이 함유 되어있는 것으로 분석되었다.

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

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

본 연구결과를 통하여 얻은 전류 고조파의 저감에 효과적인 직렬리액터의 적용을 통하여 얻은 실험적인 데이터는 전력 품질개선을 위한 연구분야에 참고자료를 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력기술인협회지, "고조파방지대책 KEEA 30-04", pp.4~32, 2000.9.
- [2] 전력전자학회지, "계통 고주파현상의 원인 및 대책", pp.29~37, 2000.2.
- [3] 한국전설공업, "특집 고주파 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"