

강원 영서지역 전원의 고조파 함유량 측정 및 분석

박종연, 방선배  
강원대학교 전기전자공학부

Measurement and Analysis of THD on the Power line in the West Region of Kang

Jong Yeon Park, Sun Bae Bang  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Kangwon Univ. Korea

**Abstract** - 본 논문은 최근 3년간 강원 영서 지역에서 실측한 전원의 고조파 함유량을 토대로 전압 고조파, 중성선 전류 고조파 및 고조파로 인한 역률 저하를 분석하였다. 전압 고조파의 종합 왜형율(THD)은 순시 측정시 적합율 88.5%, 24시간 측정시 42.9%로 나타났으며, 중성선 전류의 종합 왜형율은 1,000%를 상회하는 장소가 20%를 차지하고 있어 심각한 문제점들이 발생될 수 있음을 알았다. 또한, 종합 고조파 왜형율의 증가로 인한 역률 저하는 평균 2%정도 발생되었다.

1. 서 론

최근 전력회사 및 전기사용자들은 전원의 품질을 저하시키는 고조파의 종류 및 함유량에 관하여 많은 관심을 갖게 되었다. 전력변환장치의 비선형특성 부하의 증가로 인한 전원의 고조파 함유량은 점점 증가되고 있는 실정이며 이로 인하여 정밀분석기기 등과 같은 첨단 및 자동화기기의 고장이나 오동작이 빈번히 발생되고 있다. 또한 차단기 개방 또는 고장으로 정전사고도 발생되고 있어 전원품질에 대한 관심은 더욱 증대될 것으로 예상된다.

본 연구는 전원의 전압 고조파 왜형율(THD)을 한국전력공사의 기준치에 적합, 부적합으로 분류하여 분석하였고, 중성선 전류 고조파는 THD의 함유량에 따라 분류하여 최근 중성선 전류의 고조파 함유량을 파악할 수 있도록 하였으며 실측 자료를 이론에 적용하여 문제점들을 알아 보았다. 또한, 고조파에 의한 역률 저하는 실측 자료를 분석하여 역률 저하의 정도를 알았다.

2. 전압 고조파 분석

종합 고조파 왜형율(THD:Total Harmonic Distortion)은 고조파 전압 실효치와 기본파 전압 실효치의 비로서 나타내며 고조파 발생의 정도를 나타내는데 사용된다.

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100[\%]$$

여기서,  $V_1$  : 기본파 전압

$V_2, V_3, \dots, V_n$  : 각 차수별 고조파 전압

전압 고조파 함유량에 대한 우리나라의 기준은 없으나 한국전력공사에서는 전압 고조파 왜형율을 3%이하로 할 것을 권고하고 있다.

2.1. 순시측정(snapshot) 자료 분석

표 1은 총26개 장소의 전압 고조파 왜형율(THD)을 분석한 결과이며 기준치 3% 이상의 수치를 나타내는 장소는 3개소로 전체의 11.5%로 나타나고 있다. 3%이상의 수치를 나타내는 장소는 관공서 2개소 및 정밀기기제작업체 1개소로서 컴퓨터 사용이 많고 UPS 및 AVR등을 많이 사용하는 장소이다.

표 1 전압 THD 분포

THD함유량[%]	1.0이하	1.5이하	2.0이하	3.0이하	3.0이상	총계
측정 장소 [호]	2	11	6	4	3	26

2.2. 24시간측정 자료 분석

표 2는 각각의 장소에서 24시간 동안 측정된 자료이며 THD의 최대치를 비교 분석한 것이다.

표 2 전압 THD 분포

THD함유량[%]	1.5이하	3.0이하	4.5이하	6.0이하	6.0이상	총계
측정 장소 [호]	3	12	2	3	15	35

총35개소의 전압 고조파 왜형율(THD)의 최대치를 분석한 결과 기준치 3% 이상의 수치를 나타내는 장소는 20개소로서 전체의 57.1%를 나타내고 있다.

이것은 그림 1과 같이 대용량의 냉난방기 및 대용량기기의 기동시 나타나는 것이며 평균 전압 왜형율은 기준치 이내의 수용가가 대부분이다.

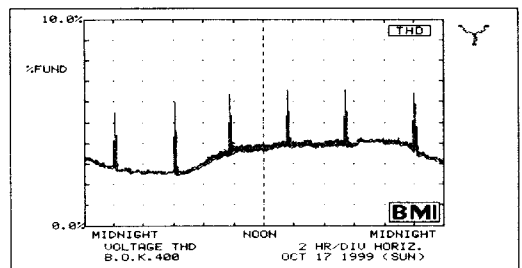


그림 1 전압 종합고조파왜형율(THD) 곡선

3. 중성선 전류 분석

전산설비, 복사기, 전자식 안정기 등의 단상정류기를 많이 사용함으로써 영상분 고조파 성분은 다른 차수의 고조파 성분보다 많은 양이 발생되며 이로 인하여 중성선에는 과전류가 흐르게 된다. 영상분 고조파 성분에 의하여 과전류가 흐르면 제3고조파는 기본파의 3배인 180Hz의 주파수 성분을 갖기 때문에 표피효과에 의한 케이블의 유효 단면적을 감소시켜 저항의 증가 현상으로 인한 차단기 및 케이블의 과열이 야기되며, 변압기의 와전류 손실 및 표피효과에 의한 영향으로 변압기의 열화를 촉진하게 된다. 또한 보호계전기들 동작시켜 정전사고를 발생시키고 중성선의 대지 전위를 상승시켜 많은 사고를 유발한다.

3.1. 이론적 고찰

평형 상태의 R, S, T상은 120°의 위상차를 가지고 있어 그 중성선은 R, S, T 각 상의 벡터합 즉,  $I_R + I_S + I_T = 0$ 이다. 그러나 R상에 흐르는 제3고조파, S상에 흐르는 제3고조파, T상에 흐르는 제3고조파는 위상이 같기 때문에 중성선에 흐르는 전류는 0이 아니고 기본파 전류보다 큰 값이 된다. 이것을 수식으로 표현하면, 각 상의 기본파 전류는

$$I_{R1} = I_m \sin \omega t$$

$$I_{S1} = I_m \sin(\omega t - 120^\circ)$$

$$I_{T1} = I_m \sin(\omega t - 240^\circ)$$

로 표시되며, 각 상전류의 합은

$$I_{R1} + I_{S1} + I_{T1} = 0 \text{ [A]}$$

이 된다.

또한, 동위상인 제3고조파 전류는

$$I_{R3} = I_m \sin 3\omega t$$

$$I_{S3} = I_m \sin 3(\omega t - 120^\circ) = I_m \sin 3\omega t$$

$$I_{T3} = I_m \sin 3(\omega t - 240^\circ) = I_m \sin 3\omega t$$

로 표시되며, 각 상전류의 합은

$$I_{R3} + I_{S3} + I_{T3} = 3I_m \sin 3\omega t \text{ [A]}$$

이 되어 각 상전류의 3배가 흐르게 된다.

### 3.1. 중성선 전류의 THD 분석

표 3, 표 4는 순시측정 및 24시간 측정 자료로서 중성선 전류의 THD 함유량에 따라 분류한 것이다. 순시측정시 500%이상의 장소가 2개소이며 24시간 측정시 1,000%이상의 장소가 7개소로 측정되었으며 표 5, 표 6과 같이 중성선 전류의 THD가 높을수록 중성선에 흐르는 전류는 증가하게 된다.

표 3 순시측정(snapshot) 자료 분석

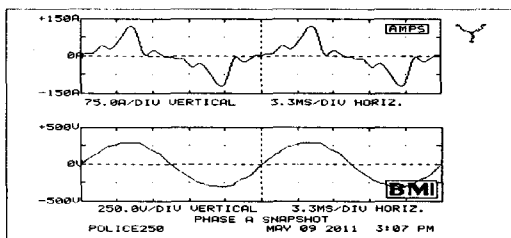
THD함유량[%]	25이하	100이하	500이하	1000이하	1000이상	계
측정 장소 [호]	7	7	4	2	0	20

표 4 24시간측정 자료 분석

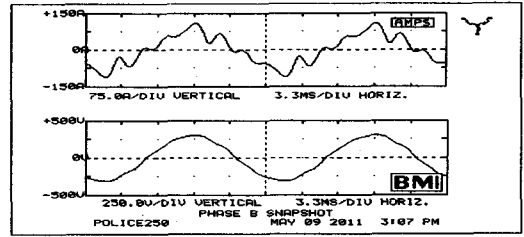
THD함유량[%]	100이하	200이하	500이하	1000이하	1000이상	계
측정 장소 [호]	7	5	6	1	7	26

### 3.2. 고조파에 의한 중성선 과전류 측정

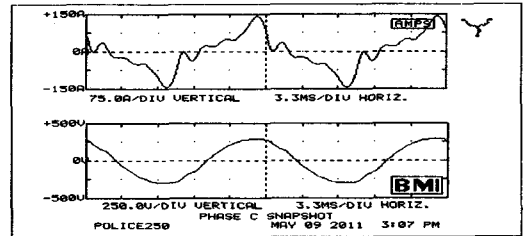
그림 2는 22,900[V] 3상 변압기 250[kW]가 시설된 ○○경찰서 변압기 2차측(380-220[V])에서 측정된 전압, 전류의 Waveform이다. 일반적으로 3상 4선식의 N상에는 각 상의 불평형 전류만이 흐르는 것이 정상이지만 그림 2(d)에서와 같이 N상에는 각 상의 영상분 고조파 전류의 합이 흐르고 있음을 알 수 있다.



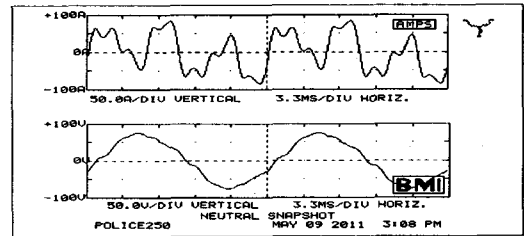
(a) R상 전압, 전류 Waveform



(b) S상 전압, 전류 Waveform



(c) T상 전압, 전류 Waveform



(d) N상 전압, 전류 Waveform

그림 2 각 상별 전압, 전류 Waveform

그림 2의 각 차수별 고조파 함유량 및 전류 크기를 수직으로 나타내면 표 5, 표 6과 같다.

표 5 각 차수별 고조파 함유량 단위 [%]

	FUND	3rd	5th	7th	9th	11th	THD
R상	100	31.2	23.6	18.1	16.4	5.3	46.6
S상	100	34.6	28.7	18.1	8.0	6.6	49.8
T상	100	12.7	16.3	21.1	10.4	5.0	31.9
N상	100	386.6	80.8	90.1	139.6	35.7	431.7

표 6의 N상에는 R, S, T상 전류의 벡터합으로 0[A]가 흘러야 정상이지만 부하 불평형에 의하여 10.9[A]가 흐르고 있으며 R, S, T상에서는 기본파 전류가 가장 크게 나타나고 있으나 N상에서는 제3차 고조파 전류가 기본파 전류의 386.6[%]인 42.1[A]가 흐르고 있으며 제9차 고조파 전류도 기본파 전류의 139.6[%]인 15.2[A]가 흐르고 있는 것을 알 수 있다. 또한, N상의 제3, 9차 고조파 성분은 R, S, T상의 제3, 9차고조파 성분의 합에 해당하는 전류가 흐르고 있음을 알 수 있다.

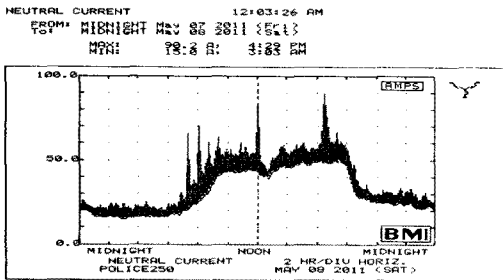
영상분 고조파 성분은 다른 차수의 고조파 성분보다 많은 양을 포함하고 있으며 이는 컴퓨터, 복사기, 전자식 안정기등의 단상설비(단상정류기)를 많이 사용하고 있음을 알려 주는 것이다.

표 6 각 차수별 전류 크기 단위 [A]

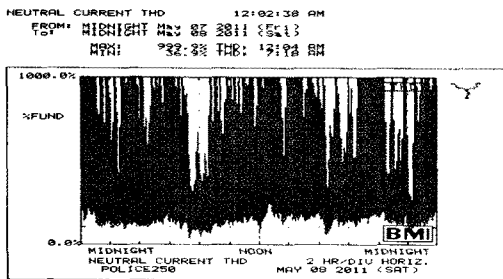
	FUND	3rd	5th	7th	9th	11th	실효치
R상	58.6	18.3	13.8	10.6	9.6	3.1	64.6
S상	49.8	17.2	14.3	9.0	4.0	3.3	55.6
T상	40.8	5.2	6.7	8.6	4.2	2.0	42.8
N상	10.9	42.1	8.8	9.8	15.2	3.9	48.1

보호계전기 GOCR(지락과전류계전기)은 22,900[V] 수전설비의 잔류회로 방식으로 많이 사용되며 정격전류 30[%]이상의 불평형 전류가 증성선으로 흐를때 동작토록 정하고 있다.

그림 3(a)는 증성선에 흐르는 전류를 24시간 동안 측정 한 그림이며 최대전류 90.2[A], 최소전류 15.0[A]가 흐르고 있음을 알 수 있다. 또한, 그림 3(b)는 증성선 전류의 THD를 24시간 동안 측정 한 그림이며 최대치 999.9[%], 최소치 36.9[%]를 나타내고 있다. 증성선에 흐르는 전류의 THD 증가 및 불평형 전류의 증가가 순간적으로 동시에 발생될 수 있으며 이로 인하여 GOCR은 동작하고 차단기가 개방되어 정전사고를 일으키게 된다.



(a) 증성선 전류의 24시간 측정



(b) 증성선 전류 THD의 24시간 측정

그림 3 증성선 전류 및 THD의 24시간 측정

#### 4. 고조파에 의한 역률의 저하

고조파의 발생은 역률 저하를 일으키게 되며 이로 인하여 전력의 효율과 질을 감소시킨다. 고조파를 포함한 역률 계산식은

$$PF = \frac{I_{1(\text{실효치})} \cos \theta_1}{I_{\text{total}(\text{실효치})}}$$

이 되고,  $I_{\text{total}(\text{실효치})}$ 는  $I_{1(\text{실효치})}$ 보다 값이 크므로 고조파의 발생시에는 역률이 감소하게 됨을 알 수 있다.

고조파는 보통 다음 식에서와 같이 종합 고조파 왜형률(THD)로 표현되며

$$THD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100$$

고조파의 전류 실효치와 기본파 전류 실효치의 비로서

고조파 발생의 정도를 나타낸다.

역률과 THD와의 관계식을 나타내면 다음과 같으며

$$PF = \frac{\cos \theta_1}{\sqrt{1 + (THD)^2}}$$

THD의 증가에 따라 역률은 감소하게 된다.

표 7은 총26개소의 PF와 DPF 및 전류 THD를 실측하여 평균치를 계산한 값이며 전류 THD의 평균치는 12.592%로서 고조파에 의한 역률 저하는 96.4%에서 94.4%로 2% 감소됨을 알 수 있다.

PF는 Power Factor의 약어로 고조파 성분을 포함한 역률로서 현재 사용중인 역률 즉, 역률계가 지시하는 일반적인 역률이며, DPF는 Displacement Power Factor의 약어로 PF에서 고조파 성분을 제외한 기본파에 대한 역률을 나타내는 것이다.

표 7 PF와 DPF 측정 결과

DPF 평균	PF 평균	전류 THD	비 고
96.4 [%]	94.4 [%]	12.592 [%]	2 [%]감소

표 8은 ○○은행의 PF와 DPF를 순시 측정 한 자료로서 전류 THD의 증가로 인한 역률 저하가 2% 감소됨을 알 수 있다.

표 8 ○○은행의 PF와 DPF 측정 결과

역률 측정	Total	R상	S상	T상	전류 THD
○ ○ 은행	P F 0.97	0.95	0.97	0.98	19.8 [%]
	DPF 0.99	0.97	1.00	1.00	

## 5. 결 론

본 연구에서는 전압 고조파 및 증성선 전류 고조파를 실측자료를 통하여 분석하였으며 고조파 전류에 의한 역률 저하를 확인하였다. 전압 고조파의 종합 왜형률은 한국전력공사의 기준치인 3%에 대하여 순시 측정시에는 적합율이 88.5%로 양호한 것으로 나타났으며 24시간 측정시에는 대용량의 냉난방기 및 대용량기의 기동시에 나타나는 전압 불안정으로 인하여 적합율이 42.9%로 낮아졌다.

영상분 고조파 전류에 의한 증성선의 과전류는 비선형 부하인 단상 정류기의 사용 증가로 인하여 24시간 측정 자료를 분석한 결과 종합 왜형률이 1,000%를 상회하는 장소(그림 3 참조)가 35개 장소 중 7개소로써 차단기 및 캐이플의 과열, 변압기의 열화, 보호계전기의 오동작등이 발생할 수 있는 문제점을 안고 있다.

또한, 종합 고조파 왜형률의 증가로 인하여 역률 저하가 평균 2%정도 발생되는 것을 알 수 있었으며, 비선형 부하의 고조파 성분으로 인한 역률 저하는 역률 개선용 진상 콘덴서를 사용하여도 역률이 개선이 되지 않음을 알 수 있었다.

본 논문은 전원의 품질 향상을 위한 대책 및 고조파 장애의 분석자료로 활용할 수 있으며, 수동 및 능동필터 개발을 위한 중요한 지침을 제시한다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 강창원, 이진식, "고조파에 의한 과전류 개선 사례", 한국전력기술인협회 협회지 2000년16월호, 2000.
- [2] 박병주, "A stude on the countmeasures for Harmonic Problems within Industrial Facilities", PQ Tech 기술자료, 2001.
- [3] 박한중, 강창섭, "고조파 역세용 수동 필터의 현장 적용화 연구", 한국전기안전공사 전기안전시험연구원, 1999.