

저압 차단기에서의 고조파 및 파형왜곡

전정채, 이상익, 유재근
한국전기안전공사 부설 전기안전연구원
e-mail: cameleon@kesco.or.kr

Harmonics and Waveform Distortion in Low Voltage Circuit Breakers

Jeon-Joeng Chay, Sang-Ick Lee and Jae-Geun Yoo
Korea Electrical Safety Corporation, Electrical Safety Research Institute

요 약

최근 사무용 빌딩에서 비선형 부하에 기인한 전압 및 전류파형의 왜곡 및 고조파로 인해 배선용 및 누전차단기 불필요 동작 또는 오동작이 발생하고 그로 인한 피해사례가 보고되고 있으나 어느 정도의 고조파양과 차수가 어떻게 영향을 미치는지 알 수 없다. 따라서 수용가에서 발생하는 고조파 양과 차수의 측정과 분석을 통한 배선용 및 누전차단기 동작특성의 평가가 필요하다. 본 논문에서는 고조파로 인해 배선용 및 누전차단기 불필요 동작이 발생하는 사무용 빌딩에서의 전압 및 전류 고조파의 크기, 전압 및 전류 파고율 등을 측정 및 분석하여 향후 고조파에 의한 배선용 및 누전차단기 동작특성 평가 연구에 활용할 수 있도록 하였다.

1. 서론

대부분의 사무용 빌딩에서는 비선형 단상 부하로 구성되어 있어 3차 고조파 위주의 다량의 고조파가 발생하며 3상 4선식 계통에서 중성선의 과전류를 유발시키며 변압기 소음 및 손실, 중성선 과열 등의 문제점이 발생하게 된다[1~2]. 사무용 빌딩에서의 비선형 부하에 의한 고조파 발생과 전압 및 전류 파형 왜곡 문제에 대해 국내·외에서 컴퓨터 부하, 엘리베이터 및 전산센터의 고조파 및 전력품질(Power Quality : PQ) 분석 등 다양한 연구가 이루어져 부하 모델별 전력품질에 대한 대책 수립에 많은 기여를 하였다[3~5].

최근 일부 수용가에서는 고조파로 인해 배선용 및 누전차단기 과열 및 오동작에 대한 주장이 계속되고 있다. 그러나 이러한 주장들은 대부분 추정에 의한 주장들이고 아직까지 사무용 빌딩에서 배선용 및 누전차단기 사용 전원에 대해 고조파 및 파형왜곡 정도의 지표인 파고율(Crest Factor : CF)의 분석과 그에 따른 배선용 및 누전차단기 영향평가가 이루어지지 못하고 있다.

본 논문에서는 고조파 및 파형왜곡에 의한 배선용 및 누전차단기 영향을 평가하기에 앞서 고조파 및 파

형왜곡 정도를 측정 및 분석하였다. 배선용 및 누전차단기 과열 및 오동작이 발생된다고 보고되고 있는 25개소의 사무용 빌딩의 배선용차단기 2차측에서 RPM (Reliable Power Meter)사의 1650 전력품질분석기를 이용하여 매 1초마다 샘플링 하여 1시간 동안 측정하였다. 측정된 결과는 평균값을 산출하고 각 빌딩들마다 고조파 및 파고율 특성을 비교함으로써 사무용 빌딩에서의 전압 및 전류파형 왜곡 특성을 분석하였다.

2. 측정 및 분석요소

전압 및 전류파형은 푸리에(Fourier) 분석을 통해 dc 성분과 다양한 크기와 위상을 갖는 사인파(Sine Wave)의 합으로 표현될 수 있다. 어떤 주기적인 전압파형 $V(t)$ 는 dc성분 V_0 과 기본주파수 ω 를 갖는 사인파의 형태로 식 (1)과 같이 표현할 수 있으며 전류 파형 $I(t)$ 에 대해서도 같은 식으로 적용할 수 있다[6].

$$V(t) = V_0 + \sum_{n=1}^{\infty} V_n \sin(n\omega t + \theta_n) \quad (1)$$

이러한 개별적 파형은 기본주파수의 정수배가 되고 이를 고조파(Harmonics)라하고, 고조파 차수는 기본파

의 정수배로 정의된다. 각 차수별 고조파 성분의 RMS(Root-Mean Square) 값이 I_n 일 때, 전류파형의 RMS 값 I_{RMS} 와 전압파형의 RMS 값 V_{RMS} 를 각각 식 (2)와 (3)으로 구할 수 있다.

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (I_n)^2} \quad (2)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} (V_n)^2} \quad (3)$$

전압 및 전류파형의 왜곡을 표현할 수 있는 대표적인 지표는 식 (4)와 (5)로 표현할 수 있는 THD(Total Harmonic Distortion)이다. THD는 총 고조파율로서 기본파 성분과 그 외 파형간의 모양의 근접도를 나타내는 지표이며 이 둘 값들은 기본파 성분에 대한 퍼센트 비율로써 표현된다.

$$V_THD = \frac{1}{V_1} \left(\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

V_1 : 기본파 전압 V_n : n 차 고조파 전압

$$I_THD = \frac{1}{I_1} \left(\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 \right)^{1/2} \quad (5)$$

I_1 : 기본파 전류, I_n : n 차 고조파 전류

이러한 전압 및 전류 THD에 관해 미국, 일본 등 선진국 대부분의 국가에서 기준을 마련하여 규제하고 있다[7, 8]. 대표적으로 IEEE 519에서는 전압 THD의 기준은 5%이하로 규정되고 있으며 전류의 고조파 기준은 차수별 기준을 수립하거나 일본의 경우는 계약용량에 따라 차수별 고조파 기준을 수립하여 고조파 발생을 억제하고 콘덴서 및 리액터 소손 등의 문제점을 사전에 예방하려는 노력을 하고 있다[7, 8].

전압 및 전류파형 왜곡을 표현할 수 있는 또 다른 요소 중 하나는 식 (6)과 같이 전류 파형의 피크 값과 RMS 값의 비로 나타내는 파고율로써 이상적인 값은 1.414이다[6]. 이러한 파고율값이 1.414보다 작을 경우는 전압 및 전류파형의 최대치가 함몰되는 플랫폼 탑핑(Flat-topping) 현상이 발생하고 1.414 이상이 되었을 경우는 파형의 최대치가 뾰족해지는 현상이 발생하게 되어 릴레이가 오동작 하거나 의료장비 및 정밀 실험장비의 경우 실험시마다 데이터가 틀려지는 문제점이 발생할 수 있다.

$$Crest\ factor = \frac{I_{Peak}}{I_{RMS}} \quad (6)$$

3. 측정결과 및 고찰

3.1 고조파

배선용 및 누전차단기 사용 장소에서 측정 및 분석된 사무용 빌딩 25개소의 고조파는 그림 1에서와 같이 상 전압 THD가 5%이상인 곳이 7개소 정도로 분석되어 수용가의 28% 정도는 IEEE 519의 수용가의 전압 THD 규정 5%를 만족시키지 못하는 것으로 나타났으며 상 전류 THD가 20%이상인 곳이 15개소로 조사되어 사무용 빌딩의 64%정도가 많은 양의 고조파 전류가 발생되어 전류파형의 왜곡 정도가 높음을 알 수 있다. 특히, 전류 고조파율이 40%이상인 곳(5개소)에서는 고조파 발생 및 피해를 줄이기 위한 대책이 필요한 것으로 조사되었다.

사무용 빌딩에서의 각 상의 고조파 스펙트럼 범위는 그림 2에서와 같이 3차부터 15차 고조파까지를 보였다. 전류의 경우 그림 2에서와 같이 3차 고조파가 가장 많이 발생하였으며 9차 고조파 이상부터는 3, 5, 7차 고조파에 비해 아주 작은 양이 발생하였다. 전압의 경우는 7차 고조파 이하가 주로 발생하였고 9차 고조파 이상부터는 1% 이하를 나타내었다.

그림 3에서는 중성선 전류 고조파 분석 결과를 보여주고 있다. 사무용 빌딩의 대부분이 중성선에 과도한 고조파 전류가 흘러 그림 3과 같이 전류 THD가 100%이상을 나타내었다. 이러한 중성선 고조파 전류는 각 상의 영상분 고조파(3, 6 및 9차...고조파)가 스칼라적 합이 되어 중성선에 흐르게 됨으로써 상 고조파 크기의 3배가 되기 때문이다. 또한 대부분의 사무용 빌딩의 중성선에는 그림 4와 같이 3차 고조파가 다량 존재하고 있는 것으로 나타났다. 이는 컴퓨터, 전자식 안정기, 팩스, 대용량 전산설비 등의 단상 비선형 부하에 의한 3차 고조파가 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 나타났다.

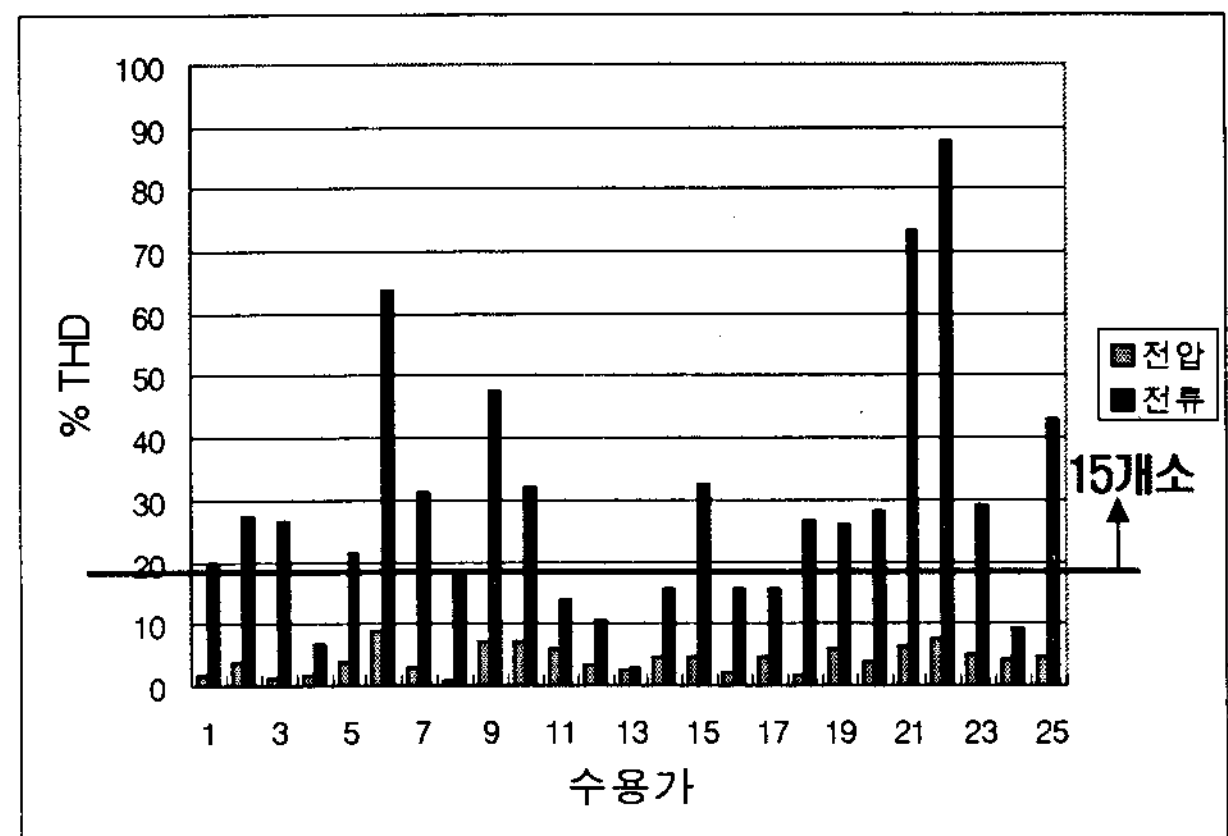


그림 1. 전압 및 전류 % THD(A상)

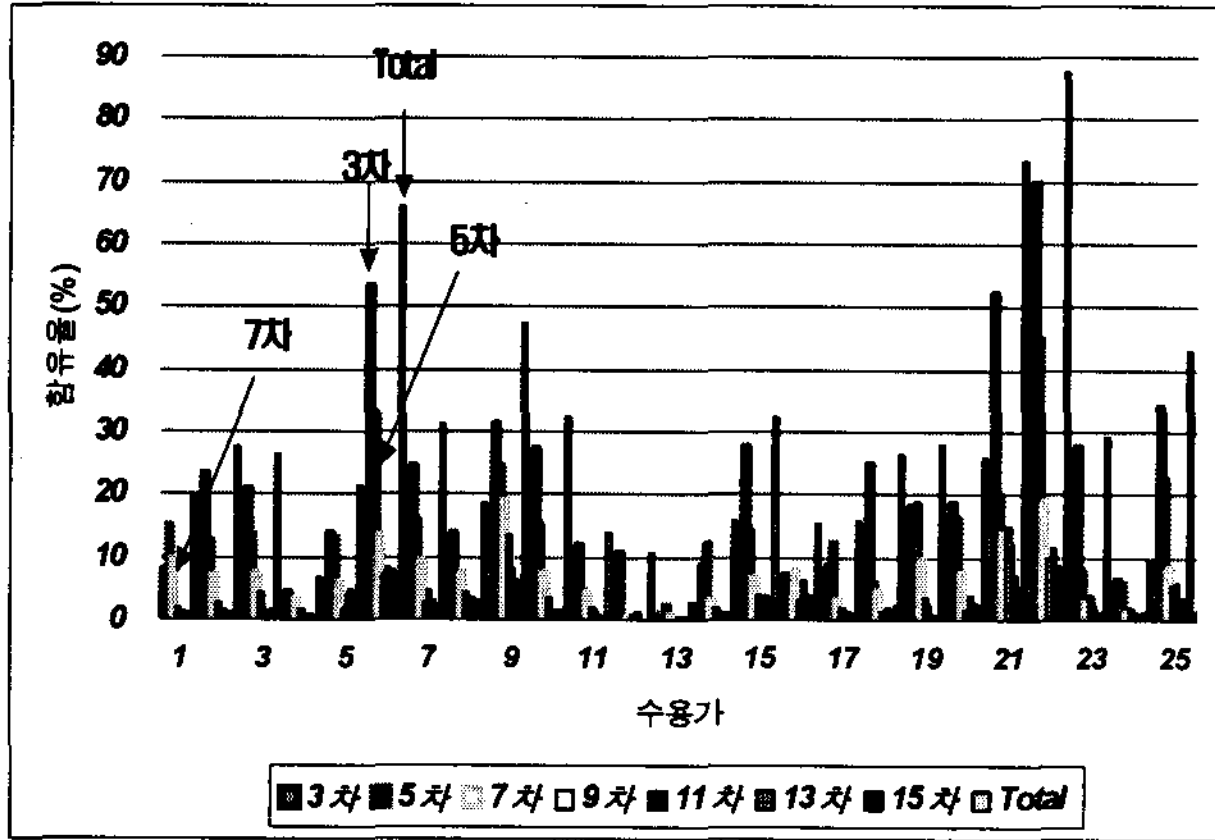


그림 2. 차수별 전류 고조파 함유율(%)

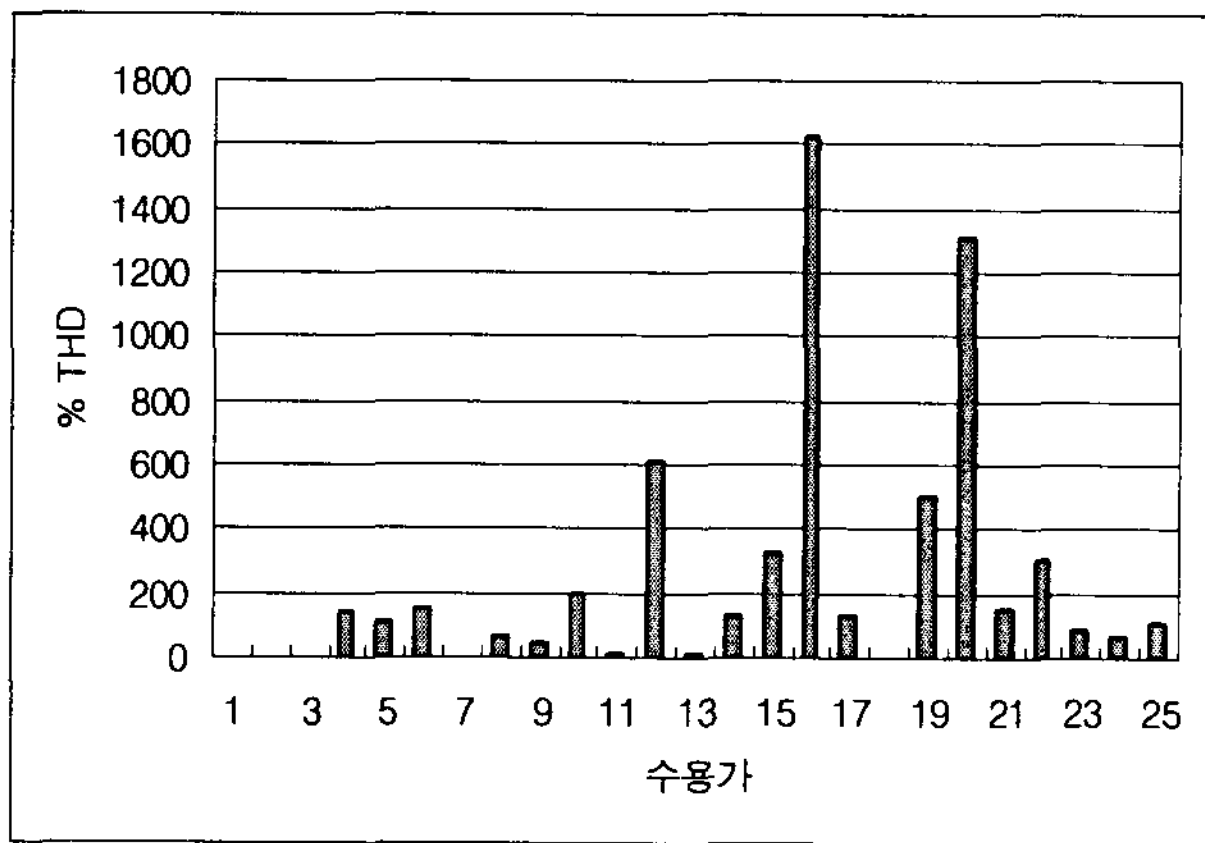


그림 3. 중성선 전류 % THD

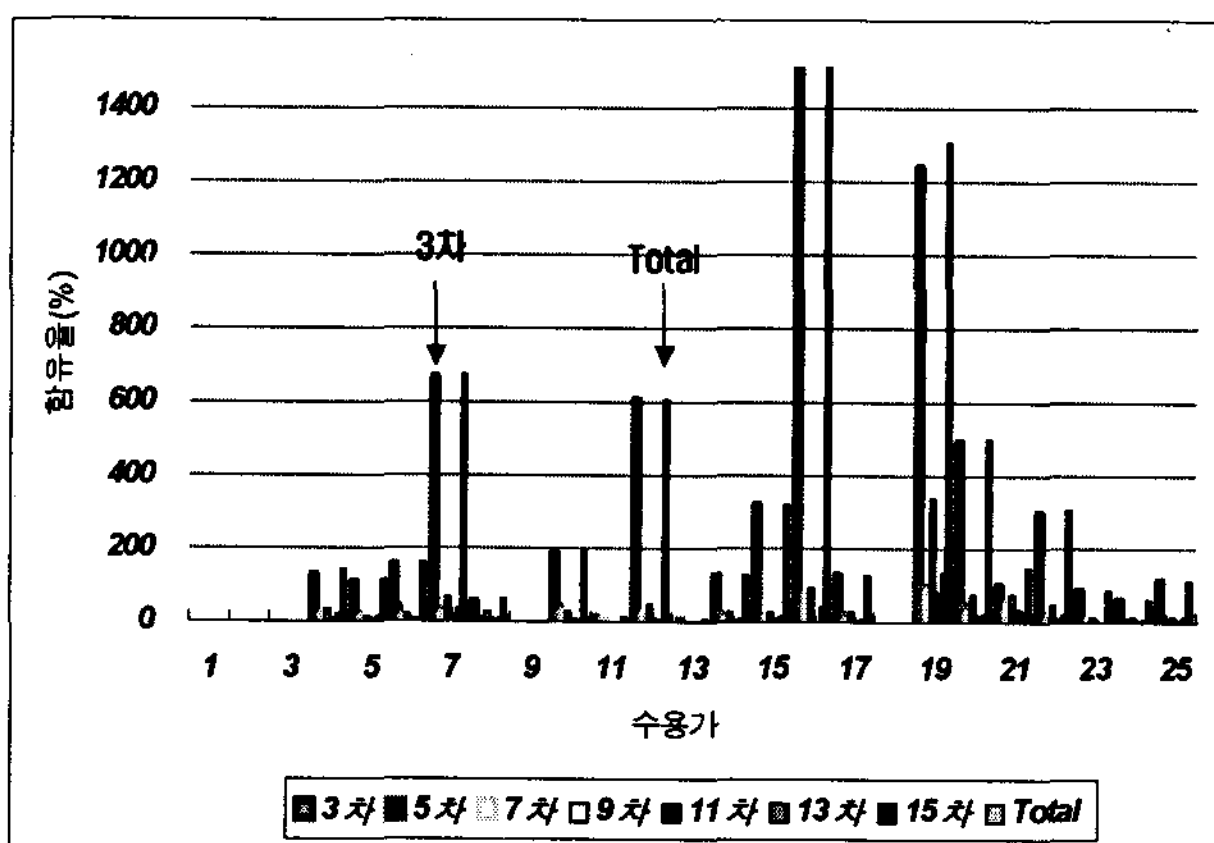


그림 4. 중성선 차수별 전류 고조파 함유율

3.2 파고율

25개소의 사무용 빌딩에서 측정된 결과로부터 분석된 각 상 전압 및 전류 파고율은 그림 5에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 5개 이상의 수용가의 전류 파고율이 2 이상을 나타냈고 평균적으로 1.8 이상으로 분석되었으며 최소값과 최대값은 각각 1.4와 2.44로 나타

났다. 전압 파고율은 대부분 1.28~1.47사이로 조사되었으며 최소값과 최대값은 각각 1.28과 1.47로 분석되어 이상적인 값 1.414에 근사한 값을 보여주었지만 파고율이 낮은 사무용 빌딩들에서는 그림 6과 같이 전압 파형의 끝이 납작해지는 플랫 탑핑현상이 발견되었다. 이러한 파고율값들에 의한 전압 및 전류 파형의 분석을 통해 사무용 빌딩에서는 전압파형의 왜곡보다 전류파형의 왜곡현상이 심한 것을 알 수 있다.

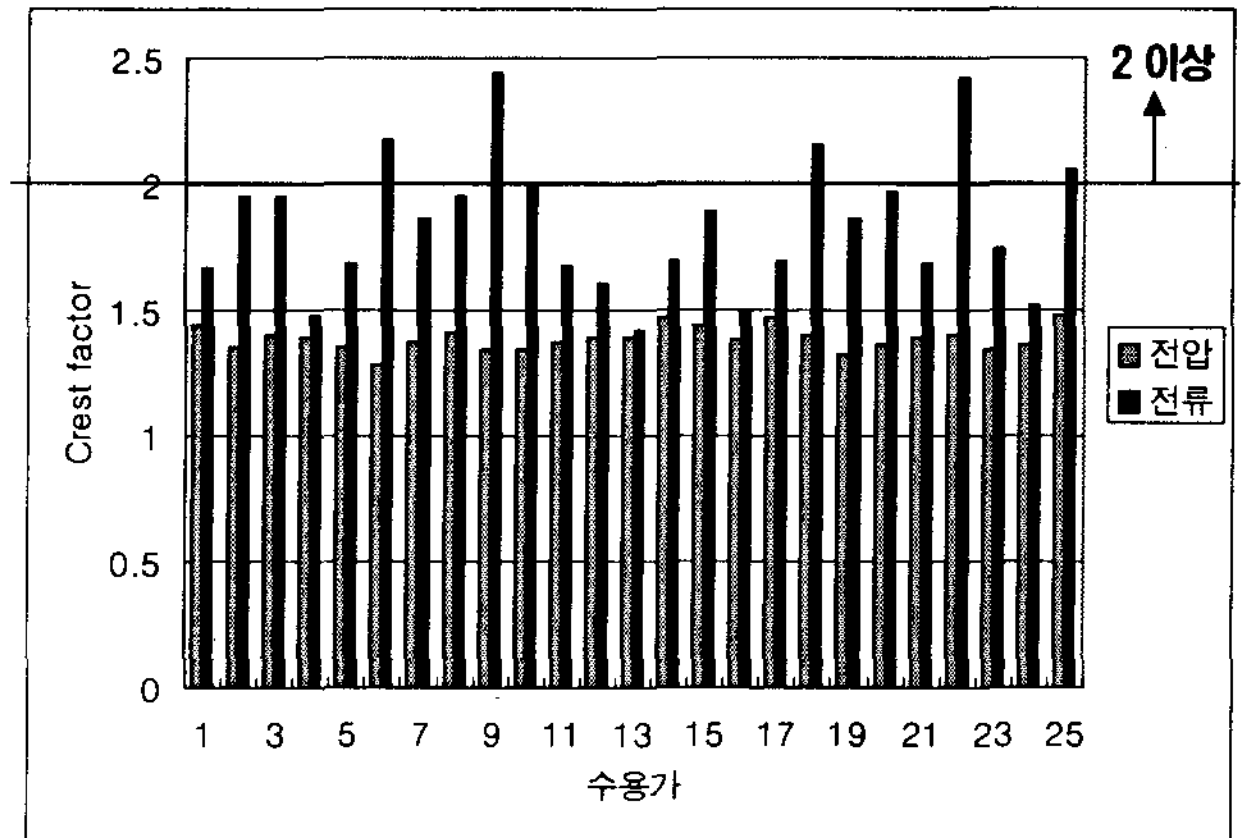


그림 5. 전압 및 전류 Crest factor(A상)

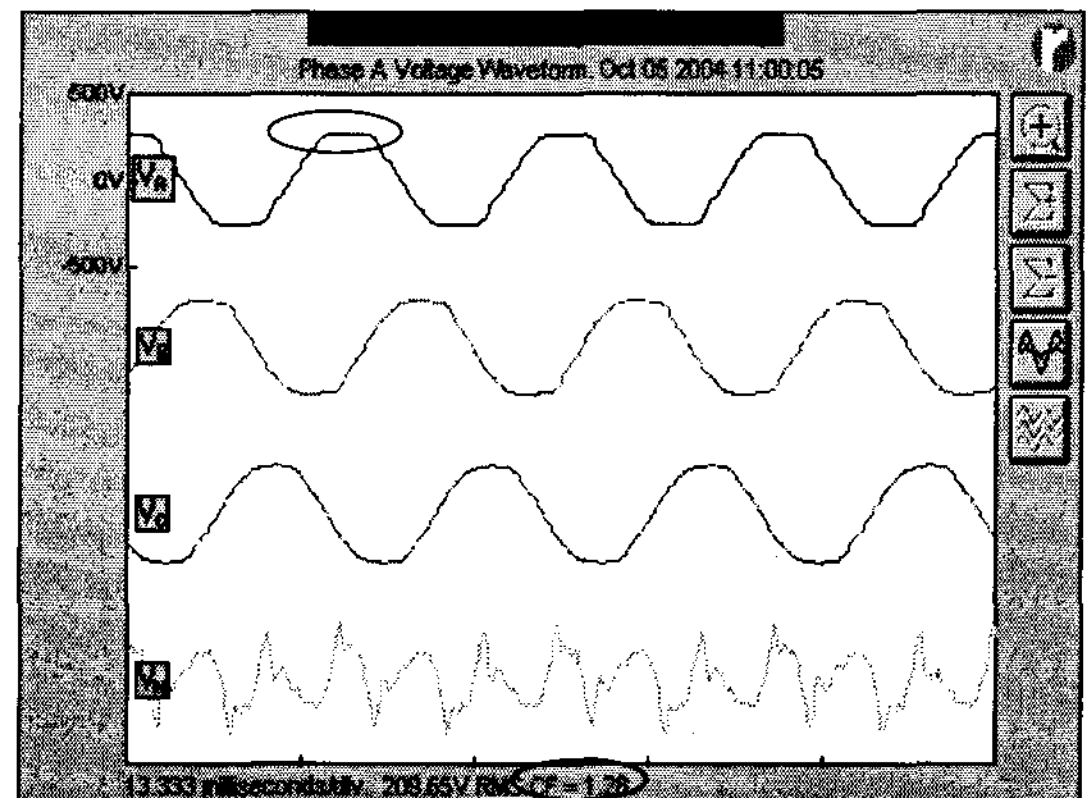


그림 6. 플랫 탑핑 전압파형

4. 결론

본 논문에서는 배선용 및 누전차단기 오동작 또는 불필요 동작이 발생하는 사무용 빌딩들의 배선용 차단기 2차측에서 측정된 전압 및 전류 고조파 및 파고율 등의 전압 및 전류파형 왜곡의 특성을 보여 주었다. 측정결과 상 전류 THD는 평균 20% 이상이었고 중성선 전류 THD는 대부분이 100%이상으로 조사되었다. 또한 전압 파고율은 거의 대부분 이상적인 값에 가까웠지만 전류의 경우는 평균 1.8이상으로 나타나 비선형

단상부하를 사용함에 따라 기준치 이상의 고조파가 발생하여 전류 파형의 왜곡이 심하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 이러한 고조파 및 파형왜곡의 단순한 크기 분석을 통해 배선용 및 누전차단기 동작특성을 규명하기는 곤란하다. 따라서 향후 본 연구에서 분석된 고조파 크기 및 차수 등을 이용하여 배선용 및 누전차단기 동작 특성시험을 통해 고조파에 의한 배선용 및 누전차단기 오동작 여부 등에 대한 정확한 규명 작업이 필요하다.

본 연구는 전력산업기반기금 전력산업연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] IEEE Task Force, "Effects of harmonics on equipment", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 8, Apr. 1993, pp. 672-680
- [2] IEEE Task Force, "The effects of harmonics on power systems equipment and loads", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. PAS-104, Sept. 1985, pp. 2555-2563
- [3] 이상중 외 3명, "집적정보통신시설 고조파 분석 및 다상효과 관찰", 한국조명·전기설비학회 학술대회지, 2002, pp. 133-138
- [4] Don O. Koval, Fellow, IEEE and Clive Center, "Power Quality Characteristics of Computer Loads", IEEE Trans. Industry Application, Vol. 33, No. 3, May/June 1997
- [5] 한국전기안전공사, "전기사용장소의 고조파 장애 분석 연구", 1996
- [6] J. Arrillaga, N. R. Watson and S. Chen, "Power System Quality Assessment, WILEY", 2001
- [7] IEEE Standard 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power systems"
- [8] 관동전기보안협회, "고압 자가용 수용가의 고조파 장애·억제대책 사례 Q&A", 성안당, 2000.