

전산실에서의 고조파 분석

노덕남^{1*}, 어익수¹
¹호남대학교 전기공학과

Analysis of the Harmonics on the Power Line in the Computer Room

Deok-Nam Roh^{1*} and Ik-Soo Eo¹

¹Department of Electrical Engineering, Honam University

요 약 본 논문에서는 전산실 파워라인의 고조파 문제를 다룬다. 전산실 UPS의 부하 측 각 상의 전압 및 전류는 한국전력공사 전기공급 약관의 규제치 전압 왜형률 5%와 전류 왜형률 5%, 그리고 KS C 4310 의 무정전 전원장치인 UPS의 출력측 고조파 전류 한도 5% 이하를 만족시켜야 한다. 그러나 측정 결과 전압 왜형률은 0.86%로 한국전력공사 규제치에 부합하나, 전류 왜형률은 34.98%로 한국전력공사 규제치인 5%를 초과하여 부적합하였다. 이에 대한 대책으로 AC필터를 설치한 결과 전류 왜형률이 15.22%로, 기준 값 이내에는 미치지 못하였으나 본래의 34.98%에서 절반에 가까운 수준에는 근접 하는 효과가 있었다.

Abstract This paper deals with the Harmonics on the power lines in the computer room. The voltage and current at each phase of electric power from UPS to the load must be ensured less than 5% distortion rates according to the regulation terms from KEPC(Korea Electric Power Corporation) and the KSC4310 Uninterruptible Power Supply regulation. However, measurements show that the voltage distortion rate conforms those regulations but the current distortion rate exceeds much the limit. This current distortion is stabilized from 34.98% to 15.22% nearly half by an AC current filter.

Key Words : Harmonics measurement, Harmonics assessment, Harmonics simulation, AC Filter.

1. 서론

전산실에서의 고조파 분석 목적은 컴퓨터를 대량으로 여러 대를 사용함에 따라 발생하는 고조파를 예측하여 계통에 미치는 영향을 분석하고 필요시 고조파에 대한 대책을 수립하기 위한 것이다.

현대산업에서의 전기이용은 파워 일렉트로닉스의 매우 급속한 보급으로 전산실의 무정전 전원장치(UPS)에서 인버터도 그중의 하나이다. 이렇게 파워 일렉트로닉스가 교류회로에 접속되면 필연적으로 컨버터도 접속되기 마련이므로 이러한 장치들에서 발생하는 고조파는 전력계통에 흐르는 정현파와 합성이 되어 일그러진 모양의 왜

형파를 만들기 때문에 정현파 전력을 대상으로 설계되어 운전하고 있는 전산실 전원과 전력계통의 각종 설비에 악영향을 미친다. 전압파형 및 전류파형 왜곡의 원인이 되는 고조파원으로서 Thyristor 응용기기, 회전기기의 Slot에 의한 것과 변압기의 자화특성에 의한 것 등이 있으며, 고조파에 의한 장애는 전력 계통측에 대한 것과 통신 계통측에 대한 것으로 분류할 수 있다. 전력 계통측에 대한 장애는 주로 낮은 차수의 고조파에 의하여 영향을 받으며 예를 들면, 변압기의 과열 및 용량감소, 역률저하, 콘덴서의 과열, 회전기의 과열, 보호계전기의 오동작, 전력케이블에서 중성선의 과열, 전력계통의 공진현상, 전력손실, 컴퓨터의 오동작 등을 들 수 있다. 통신계통의 장애

*Corresponding Author : Deok-Nam Roh (Honam University)

Tel: +82-62-940-5496 email: nohno2000@daum.net

Received Jun. 25, 2012 Revised (1st Jul. 27, 2012, 2nd Sep. 3, 2012, 3rd Oct. 29, 2012, 4th Dec. 5, 2012)

Accepted Dec. 6, 2012

는 주파수가 낮은 고조파에 의한 전화회선에서의 음성 잡음, 주파수가 높은 고조파에 의한 신호회선의 오동작 등을 들 수 있다[1].

본 논문에서는 전자 통신기술의 발전과 각종 뉴 미디어의 실용화로 고도의 정보화 사회가 급속히 진전되고 있는 현실을 감안하여 비록 전기 용량은 작으나 많은 수의 기기가 동시에 사용되고 있는 컴퓨터 부하를 대상으로 고조파를 측정 분석하여, 고조파 억제 대책을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 고조파 이론

일반적으로 고조파(高周波, High Frequency)는 전력관제에서 상용 주파수보다 높은 주파수를 말하며, 고조파(高調波, Harmonics)는 기본파에 대하여 그의 정수배의 주파수를 말하는 것으로, 통상 왜형파는 기본파와 고조파로 분해해서 생각할 수 있다[1].

이러한 왜형파의 질을 나타내는 수치로는 통상, 종합 전압 왜형을 및 고조파 함유율로 나타낼 수 있으며, 종합 전압 왜형율은 기본파 성분 실효치에 대한 전체 고조파 성분 실효치의 비율로 나타낸다.

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum V_n^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad (1)$$

여기서, V_n 은 제 n 차 고조파 전압의 실효치를 나타내고, V_1 은 기본파 전압의 실효치를 말하며, 고조파 함유율은 어떤 차수의 고조파 성분 실효치의 기본파 성분 실효치에 대한 비율로

$$\frac{I_n}{I_1} \times 100 [\%] \quad \text{또는} \quad \frac{V_n}{V_1} \times 100 [\%] \quad (2)$$

로 표시할 수 있다[2].

고조파 전류의 발생원은 대부분 전력 전자소자인 Diode, SCR 등을 사용하는 기기에서 발생된다.

그 종류를 들어보면, 전력 변환장치 즉, 인버터, 컨버터, 무정전 전원장치, 정류기, 가변전압 가변주파수 장치 등과, 아크로, 전기로, 변압기, 회전기기 등의 과도현상에 의한 것 등이다[3].

변압기, 회전기기 등은 발생 고조파 크기가 적고 순간적인 것이 많아 크게 문제가 되지 않으나, 전력 변환장치, 아크로, 전기로 등은 고조파 발생원이 지속적이고 고조파 전류성분이 크기 때문에 다른 기기나 선로에 미치는 영

향이 대단히 크다.

2.2 고조파 시뮬레이션

2.2.1 고조파 관리 기준

아래의 표 1은 한국전력공사의 고조파 기준이고, 표 2는 IEEE의 고조파 기준을 나타낸다[4].

[Table 1] Korea Electric Power Corporation Electricity Supply Terms

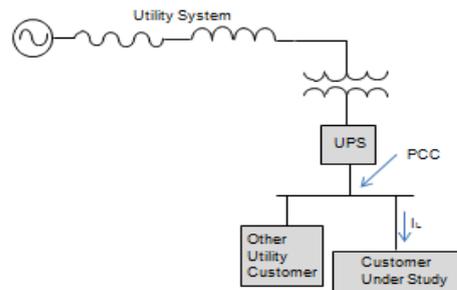
| 구 분 | 지중선로가 있는 S/S에서 공급 | | 가공선로가 있는 S/S에서 공급 | |
|---------|-------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | 전압왜형률[%] | 등가 방해 전류[A] | 전압왜형률[%] | 등가 방해 전류[A] |
| 66kV이하 | 3 | - | 3 | - |
| 154kV이상 | 1.5 | 3.8 | 1.5 | - |

[Table 2] IEEE Std.519-1992

| Bus Voltage at PCC | Individual Harmonic Voltage Distortion(%) | Total Voltage Distortion (%) |
|-------------------------|---|------------------------------|
| $V_n \leq 69kV$ | 3.0 | 5.0 |
| $69kV < V_n \leq 161kV$ | 1.5 | 2.5 |
| $V_n > 161kV$ | 1.0 | 1.5 |

2.2.2 고조파 관리의 측정 기준

고조파 측정의 기준점인 PCC는 IEEE를 기준으로 아래 그림 1과 같이 고조파 발생부하의 전원측이 되는데 상황에 따라 변경될 수 있다.



[Fig. 1] Harmonic management of the measuring point(PCC)

고조파관리에서의 Time Varying(시변수)을 보면 IEEE Std.519에 의해 규제치의 50%초과한 24시간 중 1시간이 전체시간의 4%를 허용하고, 따라서 규제 방법은 발생된 고조파가 허용치 이내에 있을 확률을 95%로 규정한다[5].

2.2.3 고조파 시뮬레이션

아래의 표 3은 필터 설치전의 고조파 전류 함유량을 나타낸 시뮬레이션으로 나타낸 결과이며 고조파 전류 함유량이 34.8%이던 것이 표 4를 보면 14.4%로 약 40%이상의 저감효과가 있음을 알 수 있다. 하지만 고조파 전압은 0.86%이던 것이 시뮬레이션 결과 0.8%로 매우 미미하여 여기서는 생략하고 고조파 부하는 주로 전류 위주로 측정 분석 하였다.

[Table 3] AC filter applied harmonic current imulation

| 차수 | 홀 수 | 차수 | 짝 수 |
|-----|-------------|-----|--------------|
| 1 | 15.3 A 기본파 | 2 | 1.9 A 124 % |
| 3 | 1.0 A 6.5 % | 4 | 1.8 A 11.9 % |
| 5 | 0.7 A 4.3 % | 6 | 1.8 A 11.9 % |
| 7 | 0.8 A 5.4 % | 8 | 1.7 A 11.4 % |
| 9 | 1.1 A 7.1 % | 10 | 1.7 A 10.9 % |
| 11 | 0.9 A 6.1 % | 12 | 1.6 A 10.5 % |
| 13 | 1.3 A 8.7 % | 14 | 1.5 A 9.8 % |
| 15 | 1.3 A 8.4 % | 16 | 0.0 A 0.0 % |
| 17 | 0.0 A 0.0 % | 18 | 0.0 A 0.0 % |
| 19 | 0.0 A 0.0 % | 20 | 0.0 A 0.0 % |
| 21 | 0.0 A 0.0 % | 22 | 0.0 A 0.0 % |
| 23 | 0.0 A 0.0 % | 24 | 0.0 A 0.0 % |
| 25 | 0.0 A 0.0 % | 26 | 0.0 A 0.0 % |
| 27 | 0.0 A 0.0 % | 28 | 0.0 A 0.0 % |
| 29 | 0.0 A 0.0 % | 30 | 0.0 A 0.0 % |
| 31 | 0.0 A 0.0 % | 32 | 0.0 A 0.0 % |
| 33 | 0.0 A 0.0 % | 34 | 0.0 A 0.0 % |
| 35 | 0.0 A 0.0 % | 36 | 0.0 A 0.0 % |
| 37 | 0.0 A 0.0 % | 38 | 0.0 A 0.0 % |
| 39 | 0.0 A 0.0 % | 40 | 0.0 A 0.0 % |
| 41 | 0.0 A 0.0 % | 42 | 0.0 A 0.0 % |
| 43 | 0.0 A 0.0 % | 44 | 0.0 A 0.0 % |
| 45 | 0.0 A 0.0 % | 46 | 0.0 A 0.0 % |
| 47 | 0.0 A 0.0 % | 48 | 0.0 A 0.0 % |
| 49 | 0.0 A 0.0 % | 50 | 0.0 A 0.0 % |
| RMS | 16.2 A | THD | 34.8 % |

[Table 4] AC filter applied since the harmonic current simulation

| 차수 | 홀 수 | | 차수 | 짝 수 | |
|-----|------------|-------|-----|--------|-------|
| | 입력 | 자동연산 | | 입력 | 자동연산 |
| 1 | 15.0 A 기본파 | | 2 | 0.8 A | 5.1 % |
| 3 | 0.5 A | 3.3 % | 4 | 0.8 A | 5.3 % |
| 5 | 0.1 A | 0.4 % | 6 | 0.8 A | 5.3 % |
| 7 | 0.4 A | 2.7 % | 8 | 0.8 A | 5.2 % |
| 9 | 0.5 A | 3.3 % | 10 | 0.5 A | 3.3 % |
| 11 | 0.4 A | 2.7 % | 12 | 0.7 A | 4.6 % |
| 13 | 0.6 A | 4.0 % | 14 | 0.2 A | 1.1 % |
| 15 | 0.5 A | 3.3 % | 16 | 0.0 A | 0.0 % |
| 17 | 0.0 A | 0.0 % | 18 | 0.0 A | 0.0 % |
| 19 | 0.0 A | 0.0 % | 20 | 0.0 A | 0.0 % |
| 21 | 0.0 A | 0.0 % | 22 | 0.0 A | 0.0 % |
| 23 | 0.0 A | 0.0 % | 24 | 0.0 A | 0.0 % |
| 25 | 0.0 A | 0.0 % | 26 | 0.0 A | 0.0 % |
| 27 | 0.0 A | 0.0 % | 28 | 0.0 A | 0.0 % |
| 29 | 0.0 A | 0.0 % | 30 | 0.0 A | 0.0 % |
| 31 | 0.0 A | 0.0 % | 32 | 0.0 A | 0.0 % |
| 33 | 0.0 A | 0.0 % | 34 | 0.0 A | 0.0 % |
| 35 | 0.0 A | 0.0 % | 36 | 0.0 A | 0.0 % |
| 37 | 0.0 A | 0.0 % | 38 | 0.0 A | 0.0 % |
| 39 | 0.0 A | 0.0 % | 40 | 0.0 A | 0.0 % |
| 41 | 0.0 A | 0.0 % | 42 | 0.0 A | 0.0 % |
| 43 | 0.0 A | 0.0 % | 44 | 0.0 A | 0.0 % |
| 45 | 0.0 A | 0.0 % | 46 | 0.0 A | 0.0 % |
| 47 | 0.0 A | 0.0 % | 48 | 0.0 A | 0.0 % |
| 49 | 0.0 A | 0.0 % | 50 | 0.0 A | 0.0 % |
| RMS | 15.2 A | | THD | 14.4 % | |

2.3 고조파 측정

비선형 부하특성을 갖는 개인용 컴퓨터(정격전압 AC110/220V, 50/60Hz, 정격전류 50/30A가 대다수 설치되어 있는 학교 전산실 부하를 대상으로 고조파 측정을 실시하였다.

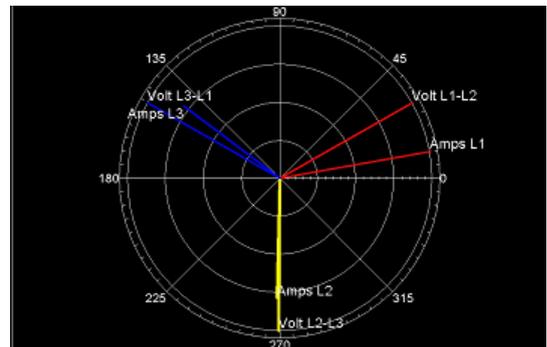
개인용 컴퓨터의 소비전력이 적은 관계로 측정지점은 내 외부인의 서버 접속을 위한 대형 서버 2대와 개인용 컴퓨터 32대가 연결된 저압용 분전반으로 무정전 전원장치인 UPS의 2차측 출력단자였으며, 측정을 통하여 대형 서버에 부하가 가장 많이 걸리고 고조파 발생량이 최대인 때인 14시~16시를 선정 하였으며 측정기간은 한달간의 기간을 갖고 측정을 하였다. 또한 측정기기의 모델은 MERIDIAN ACE-4000 이다.

컴퓨터는 전원 공급을 무정전 전원장치로 공급 되고 있으며, 무정전 전원장치의 제원은 용량 30KVA에 부하 출력전압은 208V, 출력전류는 13A, 2차측은 델타 결선으로 회로구성이 되어있다. 고조파 차수는 15차수 까지 측정 하였다.

그림 2~그림 10, 표 5~표 11은 전원품질 분석기를 이용하여 실측된 자료들 이다.

2.3.1 AC 필터 설치전 부하 특성

아래 그림 2는 AC 필터 설치 전의 전원 특성을 측정 한 결과이다.



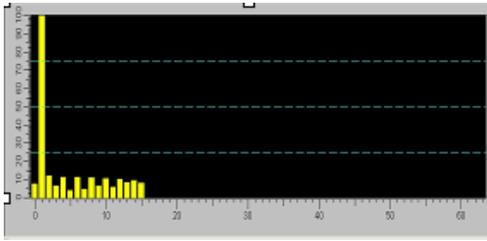
[Fig. 2] Uninterruptible Power Supply (UPS) of the output voltage and current spectrum (3Φ)

[Table 5] Measuring Text

| 구분 | 전압[V] | 전류[A] |
|----|-------|-------|
| L1 | 208.1 | 15.29 |
| L2 | 208.9 | 12.02 |
| L3 | 208.3 | 11.97 |

1th~15th의 각 차수별 종합 고조파 함유량을 측정한 결과, 표 5에서와 같이 부하 L1 상은 208.1V, 15.29A, 부하 L2 상은 208.9V, 12.02A, 부하 L3 상은 208.3V, 11.97A로 나타났다.

아래 그림 3의 첫번째는 교류에 직류성분이 포함됨을 나타내고, 두 번째는 기본파 성분을 100%로 하고, 3번째 부터는 2th~15th의 각 차수별 종합 고조파 함유량을 나타낸 그림이다



[Fig. 3] Total harmonic content 1 (1st~15th)

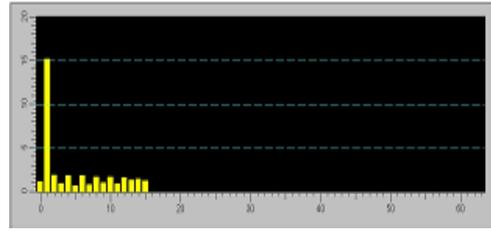
[Table 6] Total harmonic content (THD)

| 구 분 | 종합고조파왜형률(THD) |
|----------------|---------------|
| 1st Harmonics | 100[%] |
| 2nd Harmonics | 12.03[%] |
| 3rd Harmonics | 6.605[%] |
| 4th Harmonics | 11.53[%] |
| 5th Harmonics | 4.33[%] |
| 6th Harmonics | 11.54[%] |
| 7th Harmonics | 5.063[%] |
| 8th Harmonics | 11.06[%] |
| 9th Harmonics | 6.755[%] |
| 10th Harmonics | 10.70[%] |
| 11th Harmonics | 5.833[%] |
| 12th Harmonics | 10.26[%] |
| 13th Harmonics | 8.496[%] |
| 14th Harmonics | 9.545[%] |
| 15th Harmonics | 8.317[%] |

그림 3의 두 번째인 제1고조파를 기본파 100%로 시작해서 고조파 함유량인 THD를 제2차수부터 제15차수 까지 측정한 결과 제2고조파가 12.03%로 가장 높게 나타났고, 제5고조파가 4.33%로 가장 낮게 나타났다.

2.3.2 차수별 고조파 전류

아래 그림 4는 고조파 전류의 함유량을 나타낸 그림이다. 첫번째는 교류에 직류성분이 포함됨을 나타내고, 두 번째는 제1고조파인 기본파 성분을 100%로 하고, 3번째 부터는 2th~15th의 각 차수별 고조파 전류 함유량을 나타낸다.



[Fig. 4] Harmonic content, 1(1st~15th)

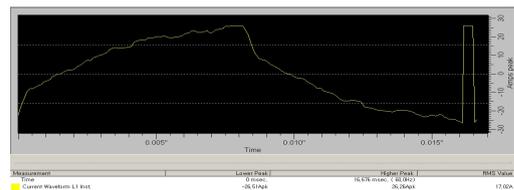
[Table 7] Current harmonics content

| 구 분 | 고조파 전류 |
|----------------|----------|
| 1st Harmonics | 15.25[A] |
| 2nd Harmonics | 1.898[A] |
| 3rd Harmonics | 1.007[A] |
| 4th Harmonics | 1.824[A] |
| 5th Harmonics | 0.662[A] |
| 6th Harmonics | 1.819[A] |
| 7th Harmonics | 0.829[A] |
| 8th Harmonics | 1.739[A] |
| 9th Harmonics | 1.083[A] |
| 10th Harmonics | 1.678[A] |
| 11th Harmonics | 0.926[A] |
| 12th Harmonics | 1.600[A] |
| 13th Harmonics | 1.330[A] |
| 14th Harmonics | 1.490[A] |
| 15th Harmonics | 1.290[A] |

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100[\%]$$

$$= 34.84[\%]$$

상기 표 7에서는 기본파를 제외한 차수 중에서 제2고조파 전류 함유량이 1.898A로 가장 높게 나타났고, 제5고조파 전류 함유량이 0.829A로 가장 적게 나타났으며, 종합 고조파 전류 함유량은 34.84%로 비교적 높게 나타났다.

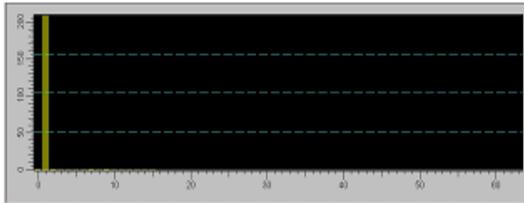


[Fig. 5] Harmonic current waveform(L1)

그림 5는 부하 L1상의 고조파 전류의 파형을 나타낸 그림이다.

2.3.3 차수별 고조파 전압

아래 그림 6은 고조파 전압의 함유량을 제1차수부터 제15차수 까지 나타낸다. 그림의 좌측 첫번째는 교류에 직류성분이 포함됨을 나타내고, 두 번째는 제1고조파 전압으로 기본파 전압 함유량 208.7V를 100%로 하고, 3번째 부터는 2th~15th의 각 차수별 고조파 전압 함유량을 나타낸다. 하지만 기본파 이외의 고조파 전압 함유량은 아주 미미해서 그림에는 잘 표현되지 않고 있다.



[Fig. 6] Harmonic voltage content (1st~15th)

[Table 8] Content of harmonics, voltage

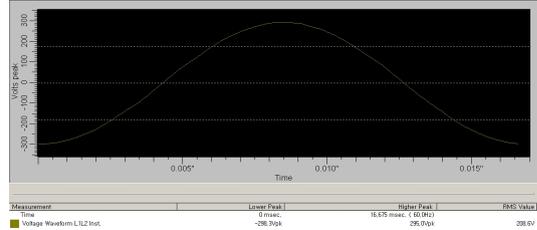
| 구 분 | 고조파 전압 |
|----------------|----------|
| 1st Harmonics | 208.7[V] |
| 2nd Harmonics | 0.826[V] |
| 3rd Harmonics | 0.598[V] |
| 4th Harmonics | 0.314[V] |
| 5th Harmonics | 0.242[V] |
| 6th Harmonics | 0.298[V] |
| 7th Harmonics | 0.793[V] |
| 8th Harmonics | 0.152[V] |
| 9th Harmonics | 0.987[V] |
| 10th Harmonics | 0.283[V] |
| 11th Harmonics | 0.249[V] |
| 12th Harmonics | 0.171[V] |
| 13th Harmonics | 0.077[V] |
| 14th Harmonics | 0.245[V] |
| 15th Harmonics | 0.343[V] |

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

$$= 0.86[\%]$$

상기 표 8에서는 기본파를 제외한 차수 중에서 제9고조파 전압 함유량이 0.987V로 가장 높게 나타났고, 제13고조파 전압 함유량이 0.077V로 가장 적게 나타났으며, 종합 고조파 전압 함유량은 0.86%로 매우 적은 수치를 나타내었다.

아래 그림 7의 전압 파형은 고조파의 영향을 거의 받지 않음을 알 수 있어 전형적인 정현파 파형을 나타내고 있다.



[Fig. 7] Harmonic voltage waveform(L1)

2.4 고조파 분석

측정한 결과 1차수~15차수까지의 고조파를 분석해 보면 전류 고조파는 표 7에서 보는바와 같이 전류 15.25A 중에 전류고조파는 최대 1.898A, 최소 0.662A로 실측되었고 우수 고조파가 기수 고조파보다 더 많이 포함되었음을 알 수 있다. 차수별 전류 고조파 함유량을 보면 2차수가 가장 많고 5차수가 가장 적은 함유량을 보였다.

전압 고조파는 표 8을 보면 전압 208.7V중에 전압 고조파는 최대0.987V, 최소 0.077V의 함유량을 보였다. 차수별로 전압 고조파 함유량을 보면 9차수가 가장 많고 13차수가 가장 적은 량을 보였다. 종합고조파 왜형률을 보면 표 6을 근거로 해서 기본파를 100%로 했을 때 제2차수가 12.03%로 가장 많고 제5차수가 4.330%로 가장 적은 함유량을 보였다. 결과적으로 종합고조파 함유량은 2, 6, 4, 8, 10차수 순으로 우수 고조파가 주를 이루고 있음을 알 수 있었다. 일반적인 고조파는 기수 고조파 함유량이 많은 양상인데 전산실에서는 특이하게도 우수 고조파의 함유량이 많았다. 그 이유는 전산실에서는 부하 자체가 모두 고조파를 발생하는 전원 공급장치인SMPS등을 포함하고, 또한 단상부하를 사용하는데 부하 불평형이 일반적인 원인이다. 하지만 우수 고조파는 발생을 하여도 기본파에 흡수되어 상쇄 되어버리므로 고조파의 의미가 없고 기수 고조파가 실질적인 피해를 주는 고조파라고 보아야 한다.

또한 각각의 고조파 함유량을 보면 그림 7에서와 같이 전압 고조파 파형은 문제가 없어 보이는데, 그림 5의 전류 고조파의 파형은 왜곡현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있다.

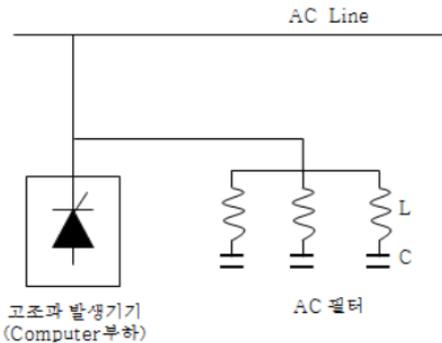
즉, 전압보다는 전류에서 고조파 왜곡현상이 많이 나타난다는 것을 실험 결과를 토대로 알 수가 있었다. 따라서, 우수 고조파가 나타나는 현상은 순간적인 부하 불평형에 의한 현상으로 보면 되겠다.

3. 고조파 대책

3.1 AC Filter

고조파의 발생량을 억제하는 가장 좋은 방법은 이상변압기를 이용한 주파수 Multiplication에 의해 pulse수를 늘리는 방안이다. 그러나 현실적으로 어려움이 있으므로 고조파의 계통 유입량을 억제하기 위하여 AC Filter를 설치할 필요가 있다.

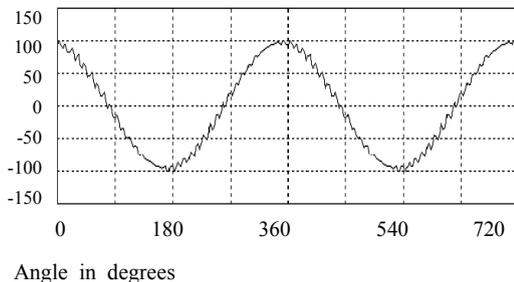
AC Filter는 그림 8과 같이 각 고조파의 차수에 공진되도록 설계된 L-C회로로 구성되어 역률 보상용 Capacitor의 역할을 하면서 공진 차수의 고조파를 흡수하여 고조파의 계통유입량을 최소화하게 된다.



[Fig. 8] AC filter installation

3.2 AC필터 설치이후의 전류와 전압 파형

AC필터를 설치한 결과 그림 9는 필터 설치 후의 전류 파형을 나타내고 있고, 표 9는 전류 왜형률이 15.22%로 기준 값인 5% 이내에는 못 미쳤으나 본래 34.98%의 절반에 가까운 수준에는 근접 하는 효과가 있었다.



[Fig. 9] When filters are applied AC current wave-forms

표 9는 AC필터 설치이후의 고조파 전류를 각 차수별로 1th~15th까지 측정한 결과로, 기본파인 제1고조파 전

류가 15.011A이고 제2고조파 전류는 0.768A로 필터 설치 이전에는 고조파 전류 함유량이 가장 높았는데 필터 설치 이후에는 제4고조파가 0.832A로 제일 높은 고조파 전류 함유량을 나타내고 있으며, 또한 제5고조파 전류가 0.062A로 가장 적은 고조파 전류 함유량을 나타내고 있다.

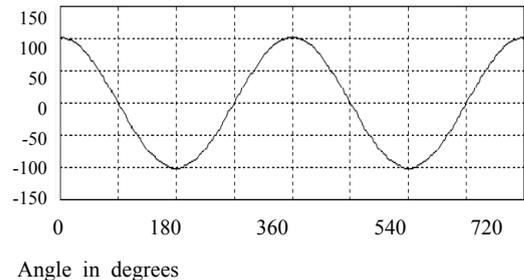
[Table 9] After applying AC filter harmonic current content

| 구 분 | 고조파 전류 |
|----------------|-----------|
| 1st Harmonics | 15.011[A] |
| 2nd Harmonics | 0.768[A] |
| 3rd Harmonics | 0.522[A] |
| 4th Harmonics | 0.832[A] |
| 5th Harmonics | 0.062[A] |
| 6th Harmonics | 0.809[A] |
| 7th Harmonics | 0.412[A] |
| 8th Harmonics | 0.783[A] |
| 9th Harmonics | 0.526[A] |
| 10th Harmonics | 0.520[A] |
| 11th Harmonics | 0.422[A] |
| 12th Harmonics | 0.688[A] |
| 13th Harmonics | 0.630[A] |
| 14th Harmonics | 0.601[A] |
| 15th Harmonics | 0.520[A] |

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100 [\%]$$

$$= 15.22 [\%]$$

그림 10은 AC필터 설치 후의 전압 파형을 나타내고 있는데 그림 6의 필터 설치 전과 필터 설치 이후의 파형의 변화가 거의 없는 정현파형을 나타내고 있다.



[Fig. 10] When filters are applied AC voltage wave-forms

[Table 10] After applying AC filter harmonic voltage content

| 구 분 | 고조파 전압 |
|----------------|----------|
| 1st Harmonics | 208.2[V] |
| 2nd Harmonics | 0.615[V] |
| 3rd Harmonics | 0.542[V] |
| 4th Harmonics | 0.308[V] |
| 5th Harmonics | 0.197[V] |
| 6th Harmonics | 0.246[V] |
| 7th Harmonics | 0.745[V] |
| 8th Harmonics | 0.112[V] |
| 9th Harmonics | 0.953[V] |
| 10th Harmonics | 0.233[V] |
| 11th Harmonics | 0.219[V] |
| 12th Harmonics | 0.156[V] |
| 13th Harmonics | 0.076[V] |
| 14th Harmonics | 0.226[V] |
| 15th Harmonics | 0.321[V] |

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

$$= 0.778[\%]$$

표 10에서 필터 설치 이후의 고조파 전류를 보면 제9 고조파전압 함유량이 0.953V로 가장 많고 다음으로 제7 고조파가 0.745V로 많으며, 고조파 함유량이 가장 적은 차수는 제13고조파로 0.076V로 가장 적은 값을 나타내며 전체의 고조파 전압 함유량의 평균값은 0.778%임을 알 수 있다. 하지만 고조파 전압은 무시해도 좋을 만큼 매우 적은 값이므로 큰 변화가 없다.

4. 결론

본 논문에서 연구한 전산실에서의 고조파 함유량을 컴퓨터실을 대상으로 측정 분석한 결과를 요약 하면 다음 표 11과 같다.

[Table 11] AC filters before and after the harmonic content of the current

| 구 분 | 고조파 함유량 | 판 정 | |
|--------|---------|----------|-----|
| 고조파 전류 | 필터 적용 전 | 34.84[%] | 부적합 |
| | 시뮬레이션 | 14.40[%] | 미흡 |
| | 필터 적용 후 | 15.22[%] | 미흡 |
| 고조파 전압 | 필터 적용 전 | 0.86[%] | 적합 |
| | 시뮬레이션 | 0.80[%] | 적합 |
| | 필터 적용 후 | 0.77[%] | 적합 |

첫째, 컴퓨터의 단상 부하로 인하여 짝수 고조파인 제 2, 4, 6, 8, 10차수가 많이 측정 되었으나 이를 개선하기 위하여 AC 필터를 설치하였으며 설치 전에는 중합 고조파 전류 함유량이 34.84%이었으나 시뮬레이션 결과 14.4%이고 필터 설치 이후에는 15.22%로 고조파 관리 기준인 5% 이하에는 미치지 못하였으나 전체적으로 보아 43.51%의 고조파 저감 효과를 나타 내었다. 또한 고조파 전압의 함유량은 필터를 설치하기 전에는 0.86%이고 시뮬레이션 결과는 0.8%이며 필터 설치 이후에는 0.77%로 처음부터 매우 적은 고조파 함유량을 나타내어 고조파 관리 기준의 5%이하에 매우 적합함을 알 수 있다.

둘째, 수동 필터인 AC필터를 사용한 것은 부하가 비교적 소 용량의 단상 부하이므로, 능동 필터인 ACTIVE Filter를 사용하면 고조파 함유량은 더욱 감소시킬 수 있으나 매우 고가라서 경제적인 측면에서 선택을 고려해야 했다.

향후 컴퓨터 관련 부하는 더욱 늘어나는 추세이다. 따라서 전력품질과 경제성을 고려해서 더욱 효과적인 고조파 대책이 마련되어야 하겠다.

References

- [1] Roh DeokNam "Analysis of the Harmonics on the Power Line in the Computer Room" Master Degree Paper Vol. 01, No 1, pp 1-7 December 2012.
- [2] Noh Uicheol "LCL Filter Design for Grid-connected PCS Using Total Harmonic Distortion and Ripple Attenuation Factor", Power Electronics Institute, Vol. 3, No. 15, pp. 235-243, Jun 2010. [Article\(CrossRefLink\)](#)
- [3] Choe Hyeongbeom "A Study on the Harmonic Characteristics of Typical Household loads by Field Measurements", Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 4, No. 22, pp. 100-106, Apr 2008.
- [4] Lee Eunwoong "Characteristics Analysis of Capacitor and Reactor for Harmonic Filter", Electrical Engineers Vol. 1, No. 58P, pp. 1-8, Mar 2009.
- [5] Mun Seungil "A Study on Power Factor Control of Inverter-based DG System with Considering the Capacity of an Active Harmonic Filter and an Inverter", Electrical Engineers Vol. 11, No. 58, pp. 2149-2154, Nov 2009.

노 덕 남(Deok-Nam Roh)

[정회원]



- 1983년 2월 : 조선대학교 전기공학(공학사)
- 2012년 2월 : 호남대학교 전기전자공학과(공학석사)
- 2007년 12월 : 기술사(건축전기설비, 전기응용)
- 2008년 1월 ~ 현재 : (주)호남전기설계감리 이사
- 2012년 3월 ~ 현재 : 호남대학교 대학원 전기전자공학과 박사과정

<관심분야>

전력품질, 전력계통공학, 신재생에너지

어 익 수(Ik-Soo Eo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 한양대학교 전기공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 서울벤처정보대학원 전기공학과(공학박사)
- 1995년 5월 : 건축전기기술사, 전기안전기술사
- 1998년 2월 ~ 현재 : 호남대학교 전기공학과 부교수

<관심분야>

전기설비, LED조명 설계, Heat-sink