

전산설비에서의 고조파 분석에 의한 효율 향상에 관한 연구

(A Study on the Efficiency Improvement by the Harmonic Analysis in Computer Installation)

최동진*

(Dong - Jin Choi)

요 약

최근 에너지의 효율적인 사용을 위해 제작되어 상용화되고 있는 전력변환장치는 기기 특성상 기본파의 n배 주파수를 갖는 고조파를 발생시키고 있다. 이렇게 발생된 고조파는 기본 정현파를 대상으로 제작된 여타 기기의 작동에 악영향을 끼치므로 반드시 제거해야할 요소로 문제시 되고 있다. 본 논문에서는 현재 정보화 시대를 맞이하여 증가되고 있는 PC를 대상으로 고조파 발생량을 측정·분석 하였으며 그에 따른 가장 효과적인 고조파 저감대책을 제시하였다.

Abstract

Recently many kinds of power transducers have been commercially used to increase the energy efficiency. However, those devices unavoidably produce the harmonics having an integral frequency of fundamental waves. The harmonics should be removed since they have negative effects on the other devices based on fundamental sine waves. As the current information technology makes the PCs more widespread, it is essential to study the harmonics that they produce. In this paper the harmonic generation of a PC has been measured and analyzed. Additionally, the most efficient way of reducing the harmonics has been proposed.

Key Words : power transducers, harmonics, PCs, way of reducing

1. 서 론

근대산업의 전기 이용에 있어 파워 일렉트로닉스의 보급은 매우 빠른 속도를 보여주고 있으며, 인버터도 그 중 하나이다. 이렇게 파워 일렉트로닉스가 교류회로에 접속되는 한 반드시 컨버터도 접속되기

마련이다. 이렇게 계속적으로 증가 추세를 보이고 있는 장치들에서 발생하는 고조파는 전력계통에 흐르는 정현파와 합성이 되어 찌그러진 모양의 왜형파를 만들기 때문에 정현파 전력을 대상으로 설계된 전력 계통의 각 설비에 악영향을 주게 된다[1].

본 논문에서는 전자통신기술의 발전과 각종 뉴미디어의 실용화로 고도의 정보화 사회가 급속하게 진전되고 있는 현실을 감안하여 용량은 작으나 다수대가 동시에 사용되고 있는 컴퓨터를 대상으로 고조파의 발생량을 측정·분석하였으며, 계통상에 두 개의 단일 동조필터를 설치하였을 경우에 고조파의 저감

* 주저자 : 경원대학교 전자·전기정보공학부 교수
Tel : 031-750-5345, Fax : 031-750-5345
E-mail : djchoi@kyungwon.ac.kr
접수일자 : 2003년 5월 7일
1차심사 : 2003년 5월 15일
심사완료 : 2003년 6월 17일

량이 어느 정도인지 Pspice를 이용하여 검증하였다.

2. 고조파의 장애 및 영향

고조파(高調波, Harmonics)란 정현파의 기본파에 대하여 n배의 주파수를 갖는 정현파형을 말한다[2].

고조파 발생원으로는 정류기, 인버터로 대표되는 전력변환장치가 주된 것으로 왜형파 전류가 흘러 고조파 발생원이 된다. 이와 같은 부하를 비선형 부하라고 한다. 표1에서 고조파의 발생원과 적용 예를 나타내었다[1].

표 1. 고조파 발생원과 적용 예
Table 1. Examples of Application and Harmonic Sources

회로 종류		주요 이용 예
3상브리지	6펄스 변환장치	· 직류전철 변전소 · 전기화학 · 기타 일반
	12펄스 변환장치	
	24펄스 변환장치	
단상브리지	직류전류 평활	· 교류식 · 전기철도 차량
	혼합 브리지	
	균일 브리지	
3상브리지 (콘덴서 평활)	리액터 없음	· 일반용 인버터 · 엘리베이터 · 냉동 공조기 · 기타 일반
	리액터 있음 (교류측)	
	리액터 있음 (직류측)	
	리액터 있음 (직·교류측)	
단상브리지 (콘덴서 평활)	리액터 없음	· 일반용 인버터 · 냉동 공조기 · 기타 일반
	리액터 있음 (교류측)	
교류전력 조정장치	저항부하	· 무효전력조정장치 · 대형 조명장치 · 가열기
	리액터스 부하	
사이크로 컨버터	6펄스 변환장치 상당	· 전동기
	12펄스 변환장치 상당	
교류 야크로	단독운전	· 제강용

기기에 대한 고조파의 유해영향은 순간적 영향과 장기적 영향으로 분류할 수 있다. 순간적 영향은 전압파형에 의한 기기의 오동작 또는 성능저하로 이어져 고장이 발생하기도 한다. 장기적 영향은 주로 열

에 의한 수명감소 및 콘덴서나 회전기 손상으로 이어진다. 표2는 고조파의 기기에 대한 영향요인과 주요 현상이다[3]. 기기는 많은 적든 고조파의 영향을 받아 문제를 일으키는 경우가 있다.

표 2. 고조파의 기기에 대한 요인과 영향
Table 2. Harmonic Factors and Effects on the Machine

요 인		영 향	
고조파에 의한 과전류	고조파에 의한 전류실효값 증대	저항손실증대	기기 과열
		유전손실증대	기기 과열
	고조파에 의한 전류증대	철손증대	기기 과열
		이상음, 진동발생	
고조파에 의한 전압파형 변형	동기회로 위상 엇갈림	사이리스터, 트라이액 등의 위상 제어 오동 작 또는 불안정	
	전압파고값 저하	회로 전압부족에 의한 오동작, 부동작	
고조파에 의한 유도피해	전자유도에 의한 유도 노이즈	전자회로 오동작 잡음발생	

현재 외국의 경우 오랜 고조파에 대한 연구의 결과로 각국의 실정에 맞는 고조파 규제 기준이 설정되어 있는 상황이다. 표3은 IEEE Std.519에서 정하고 있는 기준(적용범위 : 120[V]부터 69[kV]까지)이고[4], 표4는 일본의 고조파 관리 기준이다[5].

표 3. 고조파전류 왜형률(%) 규제치
Table 3. Harmonic Current Distortion(%) Limits

ISC/IL	h<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	THD
<20	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
1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

여기서, I_{sc} 는 고장전류, I_L 은 최대 부하전류이며 THD(Total Harmonic Distortion)는 총합 고조파 왜형률을 나타낸다.

표 4. 고조파 유출전류 제한치 (mA/kW)
Table 4. Limits of Harmonic Outflow Current(mA/kW)

계통 차수	제5차	제7차	제11차	제14차
6.6[kV]	3.5	2.5	1.6	1.3
22[kV]	1.8	1.3	0.82	0.6
33[kV]	1.2	0.86	0.55	0.4
77[kV]	0.5	0.36	0.23	0.1

고조파에 대한 대책을 생각함에 있어 구체적인 요소로는 다음의 3가지를 들 수 있다.

- 1) 고조파 발생원
- 2) 대상회로 임피던스
- 3) 대상기기의 고조파 내량

고조파 절감은 다른 설비에 고조파 영향을 주지 않는다는 관점에서 발생원 자체의 발생량을 줄이는 것이 기본이며, 정류기부에 PWM제어를 도입하는 등 발생기기측을 개량하고 있으나 그만큼 비용 상승도 예측되므로 경우에 따라서는 전용 대책장치를 설치해 일괄적으로 보상하는 편이 경제적인 경우가 있다. 전용 대책장치로는 LC필터(LC Filter)와 AF(Active Filter)가 있으며, 표5에 두 필터간의 특성을 비교하여 나타내었다[3].

표 5. LC필터와 AF 비교
Table 5. Comparison of LC Filter and AF

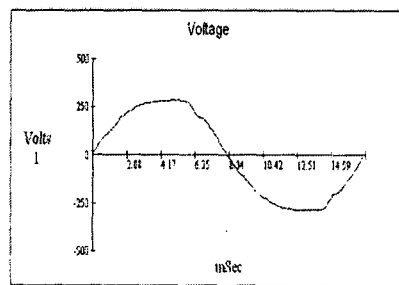
구 분	LC필터	AF
억제 고조파 차수	각 차수 고조파마다 설치.	임의의 복수 차수조파를 동시에 억제.
과부하 보호 (고조파 발생량 증가시)	과부하가 됨.	과부하가 안됨.
계통 임피던스 영향	있다	없다.
기본파 무효분 조정기능	있다(교정).	제어방식에 따라 가능.
용적	100[%]	100[%]~200[%]
증설	필터간 협조.	용이
손실	장치용량의 1~2[%]	장치용량의 8[%]~10[%]
가격	100[%]	300[%]~700[%]

3. 고조파 측정 및 분석

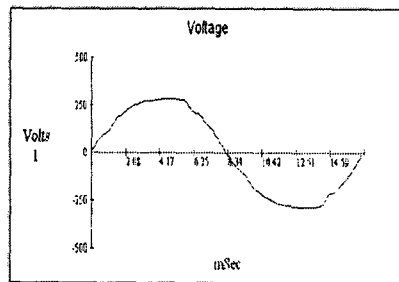
비선형 부하특성을 갖는 개인용 컴퓨터(정격전압 200V, 전기설비학회의논문지 제17권 제6호, 2003년 11월

: AC 110/220[V] 50/60[Hz], 정격전류 : 5.0/3.0[A])가 다수 대 설치되어 있는 전산실을 대상으로 오전, 오후, 저녁으로 구분하여 고조파 측정을 실시하였다. 개인용 컴퓨터의 소비전력이 작은 관계로 측정점은 개인용 컴퓨터 24대가 연결된 저압용 분전반이었으며 측정을 통하여 고조파 발생량이 최대일 때를 선정하였다.

그림1~4, 표6~8은 고조파 측정장비를 이용하여 실측된 자료이다.

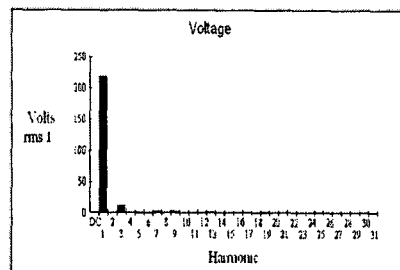


(a) 고조파의 함유량이 최소일 경우

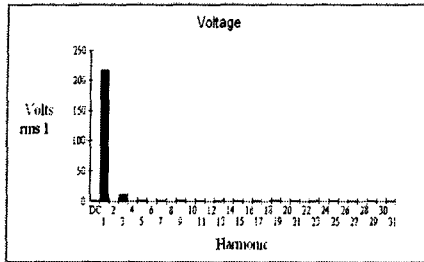


(b) 고조파의 함유량이 최대일 경우

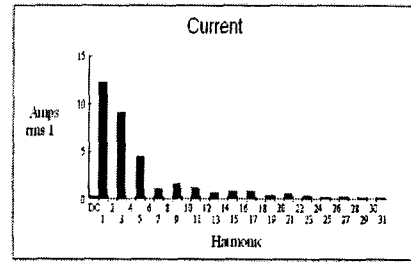
그림 1. 측정 점에서의 전압 파형
Fig. 1. Voltage Waveform at the Measuring Point



(a) 고조파의 함유량이 최소일 경우



(b) 고조파의 함유량이 최대일 경우

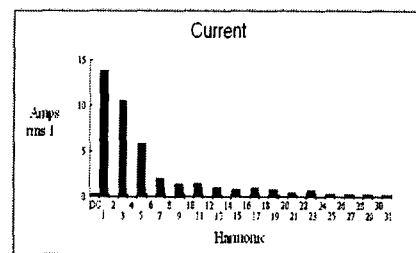


(a) 고조파의 함유량이 최소일 경우

그림 2. 측정 점에서의 전압 스펙트럼
Fig. 2. Voltage Spectrum at the Measuring Point

표 6. 전압 총합 고조파 왜형률
Table 6. Total Harmonic Distortion for Voltages

측정 수	전압 실효치 (V)	전압 최대치 (V)	THD (%)	고차 4개 차수			
				차수 %	차수 %	차수 %	차수 %
1 회	219.3	292.7	5.64	3 5	13 1.04	9 1.03	5 1.01
2 회	219.2	296.1	5.17	3 4.33	9 1.75	7 1.13	13 0.93
3 회	216.8	295.4	4.18	3 3.28	9 1.82	15 1.02	7 0.84
4 회	219.6	293.3	5.74	3 5.34	9 1.19	7 1.04	5 0.85
5 회	218.5	292.3	5.94	3 5.26	7 1.32	9 1.3	13 1.19

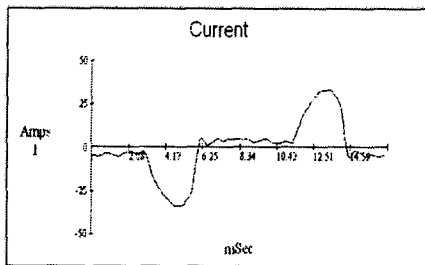


(b) 고조파의 함유량이 최대일 경우

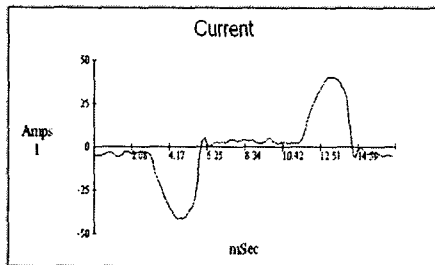
그림 4. 측정 점에서의 전류 스펙트럼
Fig. 4. Current Spectrum at the Measuring Point

표 7. 전류 총합 고조파 왜형률
Table 7. Total Harmonic Distortion for Current

측정 수	전류 실효치 (A)	전류 최대치 (A)	THD (%)	고차 4개 차수			
				차수 %	차수 %	차수 %	차수 %
1 회	16.31	36.36	67.62	3 56.35	5 31.59	7 10.77	11 8.24
2 회	16.57	37.23	68.23	3 56.64	5 32.03	7 11.28	11 8.79
3 회	16.72	37.56	67.24	3 56.31	5 31.22	7 10.69	11 8.41
4 회	16.9	36.49	65.55	3 56.21	5 28.44	9 9.87	11 8.14
5 회	18.65	41.59	67.4	3 56.74	5 31.2	7 10.42	11 8.04



(a) 고조파의 함유량이 최소일 경우



(b) 고조파의 함유량이 최대일 경우

그림 3. 측정 점에서의 전류 파형
Fig. 3. Current Waveform at the Measuring Point

표 8. 측정 Text
Table 8. Measuring Text

요소	발생량	최 소	최 대
전 압	SPRINT LAB	219.0 RMS V	292.0 RMS V
	RANGE	200 V DC	200 V DC
전 류	SPRINT LAB	16.2 RMS A	18.6 RMS A
	RANGE	34.4 RMS A	41.6 RMS A

분석한 내용을 살펴보면 측정점에서의 전압고조파 총합 왜형률은 최소 5.17%, 최대 5.94%로 실측되었고 대부분의 성분이 기수고조파임을 알 수 있었다. 차수별 전압고조파 함유율은 3차가 최대 5.34%로 가장 많았으며 9, 7, 13차 순으로 함유하고 있었다. 전류고조파 총합 왜형률은 최소 65.55%, 최대 68.23%로 실측되었고 성분 또한 전압고조파 총합 왜형률과 마찬가지로 기수고조파가 대부분이었다. 차수별 고조파 전류 함유율은 3차가 최대 56.74%로 가장 많았으며 5, 7, 9차 순으로 함유함을 알 수 있었다.

4. 필터의 설계

실험측정 결과 제3고조파와 제5고조파가 다른 고조파 성분에 비하여 많이 유출되므로 경제적이면서 특정차수의 감소에 유리한 단일 동조필터를 각각 제3고조파와 제5고조파에 맞게 설계하였다[6].

표 9. 3차 필터 데이터
Table 9. 3th Filter Data

정격사항		기본파	3차 고조파
필터 공진차수		-	3차
설비정격	회로전압	219.2 [V]	-
	전류	16.57 [A]	9.38 [A]
	용량	3.63 [kVA]	-
콘덴서정격	전압	246.6 [V]	111.89 [V]
	리액턴스	14.85[Ω]	4.95[Ω]
	용량	4.08 [kVA]	1.31 [kVA]
리액터정격	전압	27.4 [V]	111.89 [V]
	리액턴스	1.65[Ω]	4.95[Ω]
	용량	453.8 [VA]	145.2 [VA]

표 10. 5차 필터 데이터
Table 10. 5th Filter Data

정격사항		기본파	5차 고조파
필터 공진차수		-	5차
설비정격	회로전압	219.2 [V]	-
	전류	16.57 [A]	5.31 [A]
	용량	3.63 [kVA]	-
콘덴서정격	전압	228.3 [V]	63.91 [V]
	리액턴스	13.75[Ω]	2.75[Ω]
	용량	3.78 [kVA]	387.7 [VA]
리액터정격	전압	9.1 [V]	63.91 [V]
	리액턴스	0.55[Ω]	2.75[Ω]
	용량	151.3 [VA]	15.51 [VA]

표 9, 10에 각각 3차 동조필터와 5차 동조필터의 산정용량을 나타내었다[2].

고공진필터는 저차의 고조파중 하나에 정확하게 동조되고, 그 값(Q)은 30~60 정도를 갖는다. 저공진필터는 전형적으로 0.5~5 정도의 값을 갖는다[6].

그림5는 Pspice 프로그램에 구현한 계통상에 3차 동조필터가 설치될 경우의 전력계통 회로도이며, 그림6은 시뮬레이션한 결과이다.

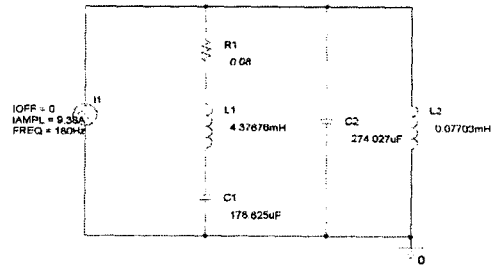


그림 5. 3차 필터 설치시 전력계통 회로도
Fig. 5. Circuit diagram for Electric Power System when 3th Filter Installs

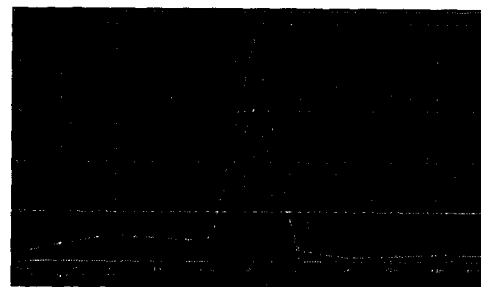


그림 6. 3차 필터 적용시 고조파 분류(시뮬레이션)
Fig. 6. Harmonic Tributary when 3th Filter Installs(Simulation)

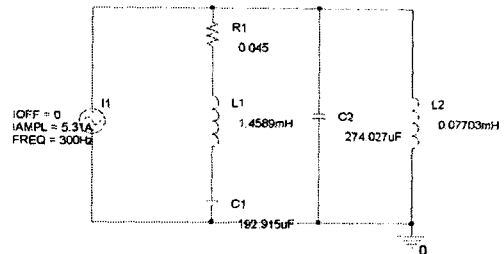


그림 7. 5차 필터 설치시 전력계통 회로도
Fig. 7. Circuit diagram for Electric Power System when 5th Filter Installs

전산설비에서의 고조파 분석에 의한 효율 향상에 관한 연구

그림7은 Pspice 프로그램에 구현한 계통상에 5차 동조필터가 설치될 경우의 전력계통 회로도이며, 그림8은 시뮬레이션한 결과이다.

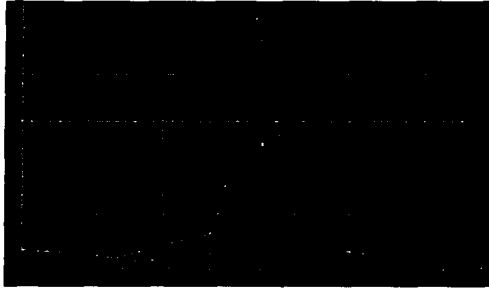


그림 8. 5차 필터 적용시 고조파 분류(시뮬레이션)
Fig. 8. Harmonic Tributary when 5th Filter Installs(Simulation)

5. 결 론

본 논문에서는 다음과 같은 이유로 고조파 저감장치인 수동필터를 설계하였다.

첫째, 개인용 컴퓨터의 경우 소비전력이 작으므로 발생하는 고조파 함유량이 높더라도 정격전압이나 정격전류에 의한 그 크기가 상대적으로 작다. 따라서 고조파 발생원측면에서의 고조파 저감대책인 발생량을 저감시키는 방법보다는 전용대책장치를 사용하여 고조파를 분류시키는 방법이 보다 효과적이다.

둘째, 고조파 측정결과 다른 차수의 고조파에 비해 제3고조파와 제5고조파의 함유율이 크게 나타났으므로 임의의 복수 차수조파를 동시에 억제할 수 있는 능동필터보다는 각 차수의 고조파에 동조하여 분류시키는 수동필터가 효과적이다.

셋째, 능동필터가 수동필터보다 가격 면에서 3~7배 고가이므로 경제성을 고려한다면 수동필터가 효과적이다.

수동필터를 설계한 후 Pspice를 이용하여 시뮬레이션한 결과 필터 설치 전에 비하여 제3고조파 전류는 9.38 [A]에서 6.1 [A]로 약 35%정도 감소되었으며, 제5고조파 전류는 5.31 [A]에서 2.05 [A]로 약 61%정도 감소되었다.

그 결과 변압기의 동손 증가율이 0.12%에서 0.03%로 감소되었고, 비선형 부하의 역률은 약 72%에

서 85%로 증가하였으며, 배선용 차단기의 파형조건도 만족시켰다.

이상으로 전산설비에서의 고조파 분석에 의한 효율 향상에 관한 연구를 하였다. 현재 사용 중인 부하에 대해서는 고조파 발생량에 따라서 수동필터 또는 능동필터 등의 전용대책장치를 설치하는 것이 좋지만 궁극적으로 가장 이상적인 방법은 비선형부하의 특성을 갖는 기기 제작 당시 기기가 전기설비에 연결되어 사용될 경우 고조파 발생을 미리 차단할 수 있는 기기자체의 고조파 발생량 감소의 방법을 적용하는 것이 더 좋다고 판단된다. 따라서 앞으로 고조파 발생원 측면에서의 고조파 저감에 대한 더 많은 연구가 필요하다.

References

- (1) "A Counterplan and mishap by Harmonics", Electrical Construction Engineering & NEC, 566호, p.86-87 p.103, 2000.
- (2) KESCO, "A Study on the Analysis and Obstacle for Harmonics in the Location of Consumption the Power", p.29 p.153, 1996.
- (3) KESCO, "The Solution for the Harmonics in Electric Power System", p.111 p.168, 1993.
- (4) "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System", IEEE Std 519-1992.
- (5) "A Standard of the Limits for Quality Management and the Harmonics", The Proceedings of the KOREAN Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, p.8~9, Vol.16 No.2 2002.
- (6) KESCO, "A Study on the Applying Actual Spot of LC Filter for Repression of the Harmonics", p.170, 1999.

◇ 저자소개 ◇

최동진 (崔東震)

1945년 8월 6일생. 1972년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1980년 연세대학교(석사), 1985년 중앙대학교(박사). 1997/98년 동경공업대 전자물리학과 해외파견교수(학진). 현재 경원대학교 공대 전자·전기정보공학부 교수.