2006년도 대한전기학회 전문대학교육위원회 학술대회 논문집 2006.10.20-10.21

부하설비의 고조파 저감장치 설계

손재현, 조양행, 김제홍
강릉영동대학 전기과

Design of harmonic reduction equipment for load system

Jae-Hyun Son, Yang-Heang Cho, Je-Hong Kim

Abstract - The aim of this study is to design a passive filter for the elimination of harmonics. For this design, the harmonics wave generating from the six pulse rectifier was measured and its characteristics were analyzed. We also calculated the quantity of harmonic current by changing the system operational conditions. According to this field data and calculated results, we determined the elements of the passive filter. The simulation and experimental results indicate the efficiency of designed passive filter.

1. 서 론

오늘날 첨단기술의 발전과 더불어 고조파 발생원이라 할 수 있는 각종 반도체 응용기기 및 사이리스터 등의 사용증가로 공장전기설비에서 고조파로 인한 전기화재가 발생하고 공장설비가 오동작하거나 운전불능 상태가 되는 등의 각종 사고 및 장해가 확산됨에 따라 고조파 억제기기 개발을 포함한 이에 대한 저감대책 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 고조파 저감대책에 관한 많은 연구가 진행되어왔으며 가장 대표적인 방법으로 수동필터, 상수증대법, 능동필터 등이 있다. 본 논문에서는 고조파를 발생시키는 실제 계통에 대한 수동필터의 현장 적용화를 목적으로 고조파를 측정·분석하고, 현장설비조건을 근거로 계통조건 변화에 의한 각 지점별 고조파 발생량 및 유출량을 예측하여 필터를 설계하였다. 설계된 수동필터는 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험을 통해 고조파 저감효과를 검증하였다.

2. 본 론

2.1 수동필터의 설계 이론

수동필터는 R, L, C 로 구성되며 그 크기는 제거하고자 하는 고조파의 주파수에서 직렬공진이 발생되도록 설정한다. LC 필터에는 여러가지 종류가 있으나 일반적으로 사용되는 것은 L, C 의 값을 공진시키고자 하는 차수의 임피던스를 낮게 선정하여 고조파 전류가 필터측으로 흐르도록 유도하는 것으로서 동조필터와 2차형 고역필터가 있다. 동조필터는 단일고조파의 흡수, 고차필터는 복수고조파의 흡수에 적용하는것이 일반적이다.

2.1.1 동조필터

동조필터는 단일 고조파에 대해서 공진할 수 있는 R-L-C 직렬회로이고 임피던스는 공진주파수에서 R로 감소한다. 필터설계시 고려해야할 기본 파라메타는 공진도 Q 와 상대적 주파수 변동 δ이다. 상대적 주파수 변동 δ는 기본파 주파수의 변동, 열화에 의한 필터 캐패시턴스와 인덕턴스 변동 등에 관한 변동계수로서 다음식으로 표현된다.

$$\delta = \frac{\triangle f}{f_n} + \frac{1}{2}\left(\frac{\triangle L}{L_n} + \frac{\triangle C}{C_n}\right) \quad (1)$$

최저의 고조파 전압을 발생하는 최적 공진도 Q는

$$Q = \frac{1+\cos\Psi_{sn}}{2\delta\sin\Psi_{sn}} \quad (2)$$

로 표현된다.

2.1.2 고역필터

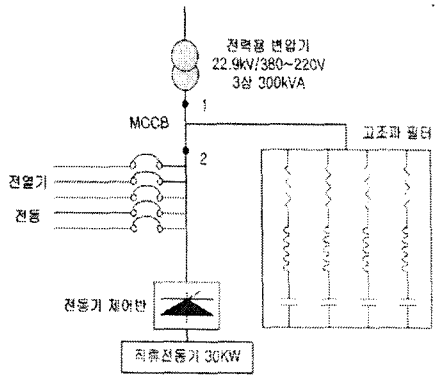
고역필터는 리액터와 저항을 병렬 접속한 것에 콘덴서를 직렬로 연결한 것으로 넓은 주파수 대역에서 낮은 저저항성의 임피던스를 갖는다. 동조필터에서는 저항을 작게하면 할수록 공진이 예민하게 되는데 반하여 고역필터는 저항을 크게 할수록 공진이 예민하게 된다.

2.2 시뮬레이션

2.2.1 방법

그림 1은 시뮬레이션을 위한 계통도이다. 고조파를 발생하는 현장에서 고조파 실측과 동시에 계통 및 각종 자료를 조사하여 고조파필터 설계에 반영하였으며, 이 자료를 근거로 시뮬레이션 계통모델을 간략하게 구성하였다. 계통도에서 주 개폐기 2차에 고조파 필터를 설치하고, 필터 설치점을 기준으로 전원측(1지점)과 부하측(2지점)의 파형과 총합 왜형률을 분석하여 고조파 필터의 설치효과를 검증하였다. 부하측(2지점)에서 발생한 고조파는 필터측으로 흡수되고 잔류 고조파량만이 전원측(1

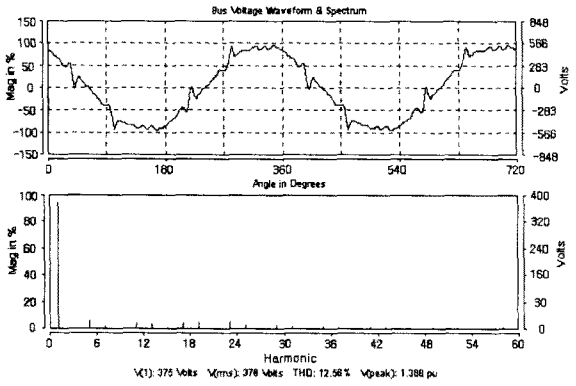
지점)으로 유출 된다.



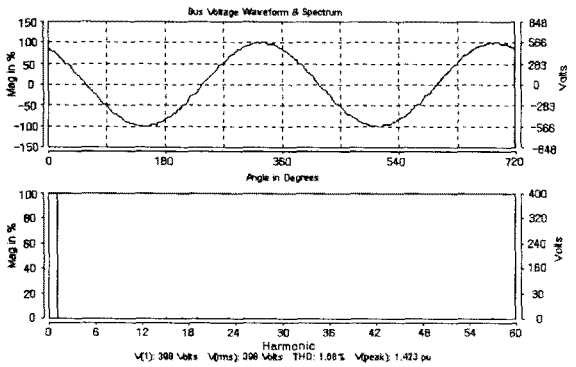
<그림 1> 시뮬레이션 계통도

2.2.2 결과

고조파 필터를 설치하기 전과 필터를 설치한 후의 부하설비 운전중 전원측(1지점)과 부하측(2지점)에서 측정한 전압파형과 전류파형을 그림 2, 3 에 나타내었다. 필터설치후의 전압·전류파형이 정현파에 가깝게 개선된 것으로 나타났으며, 고조파필터 설치후 부하측에서 전원측으로 유출되는 전압고조파 총왜형율(V_{THD})은 13.65[%]에서 1.75[%], 전류고조파 총왜형율(I_{THD})은 22.46[%]에서 2.31[%]로 현저하게 감소하였음을 확인 할 수 있었다.

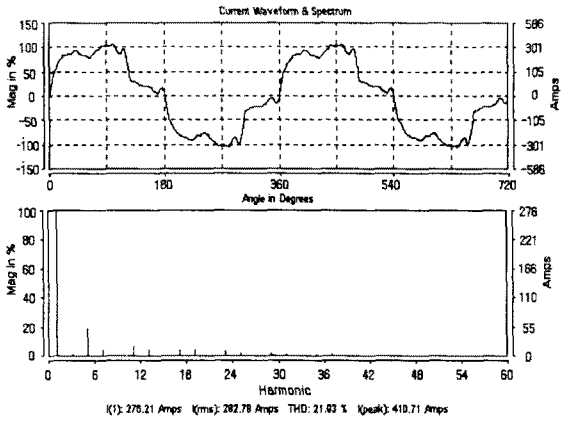


(a) 필터 설치 전

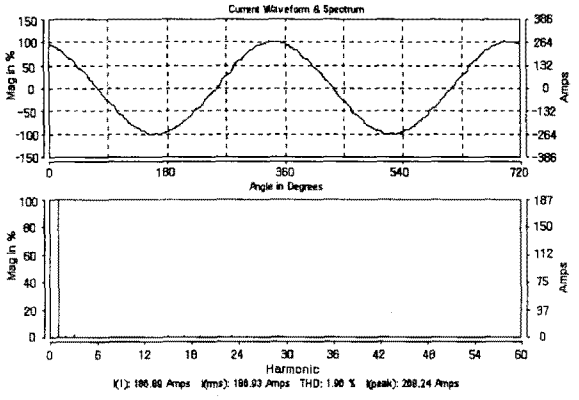


(b) 필터 설치 후

<그림 2> 전압 파형



(a) 필터 설치 전



(b) 필터 설치 후

<그림 3> 전류 파형

2.3 실험

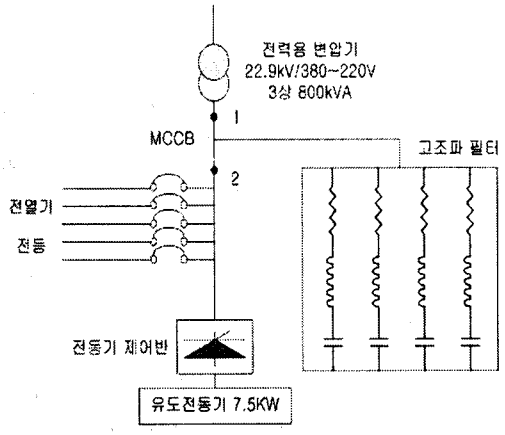
2.3.1 방법

실제 대규모 공장 전기설비에 고조파필터를 설치하여 수행하는 실제실험은 예기치 못한 공장 전기설비사고를 초래하여 공장가동에 심각한 지장을 초래 할 위험이 내재하므로 실제실험은 실험실 내에서 소규모 전기설비의 부하에 대하여 실험을 수행하였다. 그림 4는 실험을 위한 계통도를 나타내고 있다.

고조파필터는 현장실측을 통한 현장데이터를 토대로 설계하였다. 표 1은 필터 설계값을 나타내며, 그림 5는 실제 제작한 고조파필터를 나타낸다.

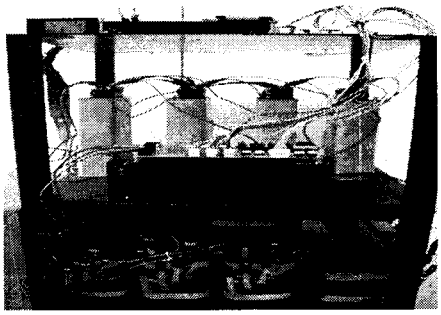
<표 1> 필터 설계 값

	3차	5차	7차	11차	13차	계
L[mH]	8.5	3.2	1.8	1.6	1.2	
C[μF]	100	100	100	40	40	
I_L[A]	15	15	13	10	7	56
V_C[A]	485	465	425	425	425	
Q_C[kVA]	5.4	5.4	5.4	2.178	2.178	20.7



<그림 4> 실험 계통도

그림 4 의 계통도의 1번 지점은 주 개폐기 1차측으로, 이 지점은 고조파 발생원에서 발생한 고조파가 2번 지점

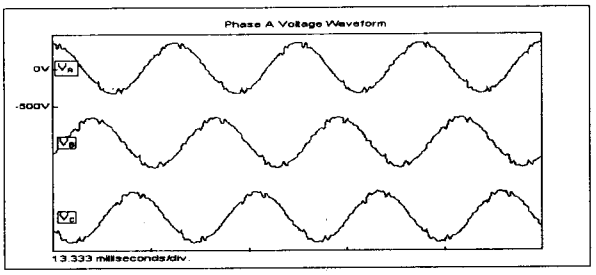


<그림 5> 수동 필터

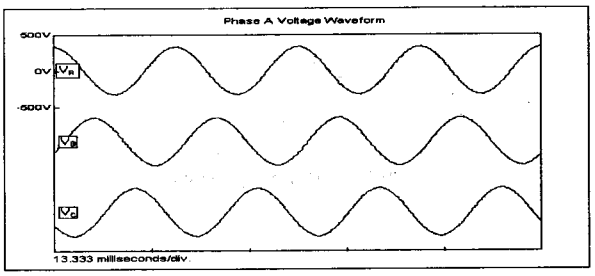
에서 필터측과 전원측 두 방향으로 분류되어, 고조파는 대부분 필터측으로 흡수되고, 남은 잔류 고조파가 전원측으로 유출된다. 따라서 본 실험은 전원측으로 유출되는 고조파량을 측정하여 설계필터성능을 검증하였다.

2.3.2 결과

그림 6(a)는 필터를 설치하기 전의 전압파형으로 그림에서 알 수 있는 바와 같이 파형에서는 노칭전압(Notching-Voltage)이 발생되고 있다. 노칭전압은 발생되는 깊이와 폭에 따라서 전기설비에 미치는 영향이 다양하게 나타난다.
예를 들면, 임펄스 전압으로 발생되어 전기설비의 절연에 영향을 미칠 수도 있고, 폭에 따라서 전자장비 등에 오동작이 발생할 수도 있다. 그림 6(b)는 고조파 필터를 설치한 후 실측한 파형으로 거의 정현파에 가깝고 노칭전압은 발생되지 않았음을 알 수 있다.



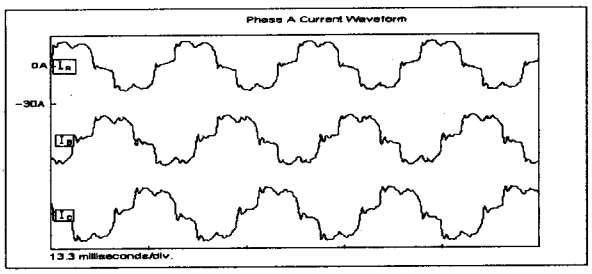
(a) 필터 설치전



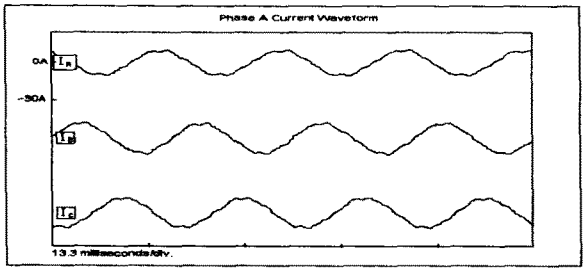
(b) 필터 설치후

<그림 6> 전압파형

그림 7(a)는 고조파 필터를 설치하기 전에 측정한 전류파형이다. 그림의 파형은 전형적인 6펄스 정류장치를 이용한 설비를 운전하는 경우 발생되는 파형으로 고조파가 다량으로 함유되어 있으며, 이러한 원인으로 실효치 전류가 증가하고, 실효치 전류의 증가는 변압기, 전선 등 전기설비용량을 감소시키는 요인이 된다.
또한 계통의 임피던스와 작용하여 고조파 전압을 발생시키고, 고조파 전압은 계통 전체에 분포되어 전기설비의 오동작 등 악영향을 미친다. 그림7(b)는 고조파필터를 설치한 후의 파형을 측정한 것이다. 고조파 필터를 설치하기 전, 후의 파형을 비교하면, 필터설치 후의 전류파형은 정현파에 가깝게 개선되어 효과적으로 고조파를 저감시킨 것으로 나타났다



(a) 필터설치전



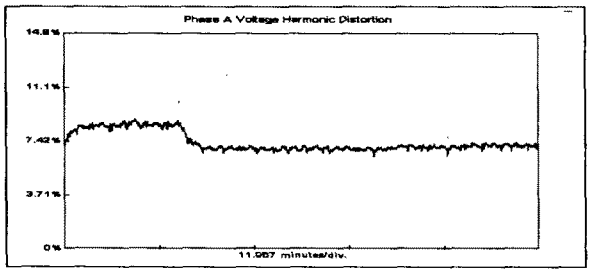
(b) 필터설치후

<그림 7> 전류파형

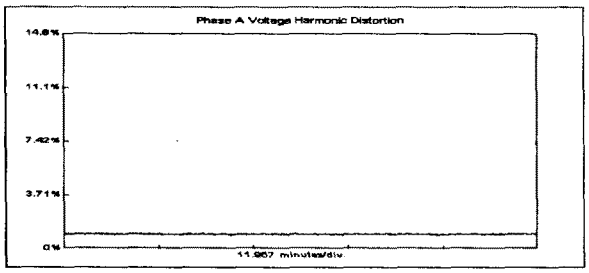
그림 8(a)는 필터를 설치하기 전 전압의 총합왜형률 변화를 나타낸 것이다. 전압의 총합왜형률은 6.57~11.23[%]까지 변화하며, 변화하는 형태는 직선적이지 않으며 불안정한 상태를 나타내었다. 그림 8(b)는 고조파를 발생하는 부하에 필터를 설치한 후의 총합왜형률 변화를 나타낸 것으로 총합왜형율은 0.91~1.63[%]로 매우 안정적으로 감소한 것으로 나타났다.
표 2에 이러한 자료를 종합적으로 나타내었다.

<표 2> 전압 왜형률

설치 구분	전압 총합왜형률(THD) %								
	A상			B상			C상		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
설치전	11.23	7.43	9.33	9.35	6.85	8.1	8.22	6.57	7.40
설치후	1.63	1.06	1.35	1.3	0.98	1.14	1.19	0.91	1.05



(a) 필터 설치전



(b) 필터 설치후

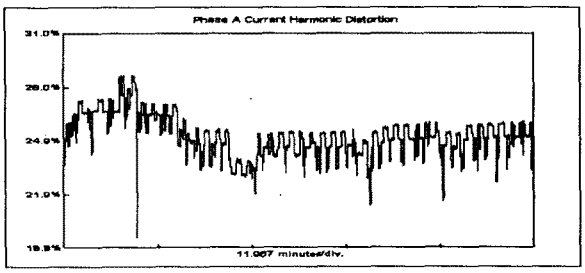
<그림 8> 전압 총합왜형률 변화

그림 9(a)는 필터를 설치하기 전 전류의 총합왜형률 변화를 나타낸 것이다. 전류의 총합왜형률은 17.69~30.34[%]까지 변화되며, 변화하는 형태는 매우 불안정하게 나타났다. 이러한 부하에 필터를 설치한 후의 총합왜형률 변화를 나타낸 것이 그림 9(b)이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전류의 총합왜형률은 4.35~10.54[%]로 대체적으로 안정적인 값으로 감소하였다. 표 3은 이러한 내용을 나타내고 있다.
그림 10(a)는 필터를 설치하기 전·후 전류의 역률변화를 나타낸 것으로 역률은 필터를 설치하기 전의 61[%]에서 필터를 설치후 96[%]로 향상되는 것으로 나타났다.

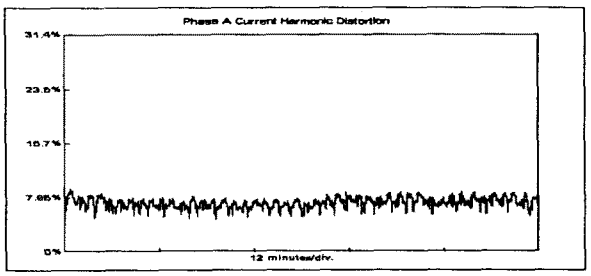
이와 같이 모든 실측자료를 종합 분석하여 보면 고조파 필터를 설치한 경우, 고조파의 저감에 의한 파형 개선은 물론 역률 개선효과 및 실효치 전류감소에 의한 변압기, 전선로 등의 전기설비에 여유가 생기고, 과부하를 예방할 수 있어 전력설비의 성능향상, 수명연장 등의 효과도 기대할 수 있다.

<표 3> 전류 총합왜형률

설치 구분	전류 총합왜형률(THD) %								
	A 상			B 상			C 상		
	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균
설치전	29.52	19.63	24.57	30.34	17.69	24.01	28.68	20.54	24.61
설치후	10.54	5.4	7.97	7.05	4.35	5.7	7.96	5.64	6.8

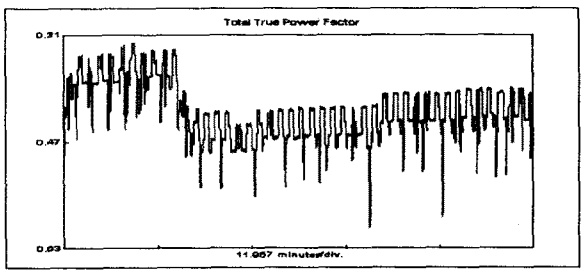


(a) 필터 설치전

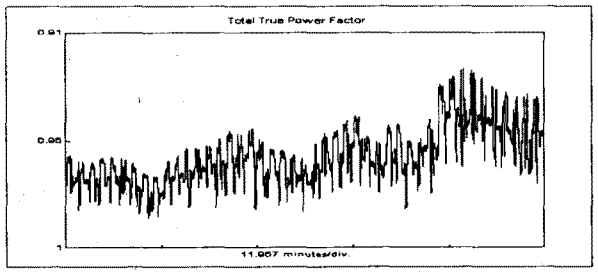


(b) 필터 설치후

<그림 9> 전류 총합왜형률 변화



(a) 필터 설치전



(b) 필터 설치후

<그림 10> 역률 변화

3. 결 론

본 연구는 공장전기설비에서 고조파로 인한 각 종 사고 및 장해가 확산됨에 따라 저가의 고조파 저감장치를 장해 수용가에 설치, 보급할 수 있도록 고조파 억제용 수동필터의 설계 및 제조기술 개발을 목적으로 연구를 수행하였다. 이를 위하여 고조파발생 현장 설비의 현장 실측을 토대로 고조파분석 등을 수행하고 고조파저감용 필터를 설계하였으며, 현장설비에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션 및 실제 현장에 적용하여 고조파 발생에 따른 전기적 특성과 고조파 총합왜형율을 측정하고 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 고조파필터 설치 후 전압 및 전류파형은 정현파에 가깝게 개선되었고 전압의 총합왜형율은 6.5[%], 전류의 총합왜형율은 12[%], 역률은 30[%] 이상 개선된 것으로 나타남으로서, 현장실측 및 고조파 분석에 의한 수동필터 설계값이 타당하였음 입증하였다.

[참 고 문 헌]

[1] J. Arrillaga., D. A. Bradley., "Power System Harmonics" John Willy & Sons, 1985.

[2] 電設工業協會, "低壓回路の高調波對策調査研究" 報告書, 電設工業

[3] 電氣技術基準調査(委) 高調波抑制對策特別調査委員會 : 高調波抑制對策技術指針(JEAG9702), (社)日本電氣協會, 1995. 6

[4] 高調波對策專門委員會 : 電力系統における 高調波とその對策, 46-2, 電氣共同研究會, 1990. 6(日本)

[5] G. H. Choe, A. K. Wallace, M. H. Park, "Control Technique of Active Power Filter for Harmonic Elimination and Reactive Power Control", IEEE IAS 88, 1988.

[6] R. P. Stratford and D. E. Steeper, "Reactive Compensation and Harmonics Suppression for Industrial Power Systems Using Thyristor Converters", IEEE Transactions Industry Applications, vol. IA-12, no. 3, May-June 1976.

[7] "配電系統の高調波障害 防止對策", 電氣協同研究 第37卷 第3號

[8] "高調波 問題とその考察方法", 日新電氣 技術本部

[9] "배전계통에 있어서의 고조파대책", OHM誌 82년 9월호