

고조파 억제용 수동필터의 현장 적용화 연구

박한중, 강창섭*, 이흥기
한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

A study on the Development and Field Application of Passive Filter for Harmonic Suppression

H. J. PARK, C. S. KANG*, H. G. LEE.
Korea Electrical Safety Corporation

Abstract - The use of electronic power unit essentially result in serious problems by harmonic-s. To reduce the effect by harmonics, we propose passive filter system which can control each harmonic filters individually. So, additional devices to detect and analyze harmonics were installed to filter system. According to measured data in the field, we calculated the values of filter components and verified them by computer simulation. After installation of filter system in the field, we could reduce harmonics and improve power factor.

1. 서 론

현대의 산업사회는 전력전자 기술의 발전으로 SMPS (Switching mode power supply)의 사용확대, 가변속 전동기 구동, 스위칭 소자를 이용한 전력변환기 등의 비선형 부하에 대한 개발이 가속화되고 있으며 이러한 장치들을 이용한 설비의 용량이 증대되고 그 이용범위가 확산되고 있는 추세이다. 이러한 기술적 발전의 이면에는 비선형 부하에 의한 고조파 발생으로 역률저하 및 전력용 기기들의 용량 저하 등 많은 문제점이 야기되고 있다. 이러한 문제점으로 인하여 특히 양질의 전원을 필요로 하는 컴퓨터, 전자기기 및 자동차 기기 등은 오동작 또는 동작불능 상태에까지 이르는 치명적인 결과를 초래하기도 한다. 따라서 본 논문에서는 현장조건과 동일한 계통을 구성하여 컴퓨터 모의실험을 실시하고 최적 조건의 수동필터를 설계하였다. 또한 현장의 고조파를 상시 감지·분석할 수 있는 고조파 분석장치와 이를 통하여 공진현상을 방지하고 고조파 발생량 및 발생차수에 대응할 수 있는 장치를 갖춘 수동필터 시스템을 제안하고, 구성된 시스템을 직류 전동기(150kW)가 설치된 현장에 적용하였다. 이 시스템의 최종목적은 고조파 저감 및 전원계통으로의 유출을 억제하여 국내 산업현장에서 발생하는 고조파 문제를 해결하는데 있다.

2. 수동필터 시스템 구성

2.1 수동필터의 이론적 고찰

수동필터의 주된 목적은 고조파 발생원에서 발생하는 특정차수 또는 다수의 고조파 전압·전류를 제거하는데 있다. 특정 주파수의 고조파가 설비나 계통에 유입시 리액터와 콘덴서의 조합으로 구성된 수동필터를 이용하여 특정 주파수에 대해 직렬 공진회로를 구성함으로써 고조파를 흡수할 수 있도록 한다. 수동필터는 고조파 전류에 대하여 낮은 임피던스 분리를 형성함으로써 고조파 전류가 그 발생원으로부터 계통에 유입하는 것을 막을 수 있다. 유도성과 용량성 리액턴스가 일치하는 주파수에서 공진을 유도함으로써 낮은 임피던스의 분리를 형성할 수 있다.

$$Z = j(\omega L - \frac{1}{\omega C}) \approx 0$$

수동필터의 가장 큰 문제는 계통과의 공진현상을 일으켜 고조파가 확대될 수 있는 가능성이다. 따라서 공진현상을 방지할 수 있도록 고조파 발생원측과 전원측의 고조파 발생량을 비교·검토하여 공진현상에 의한 고조파 확대현상을 방지할 수 있도록 수동필터를 설계하였다.

2.2 수동필터 설계

필터를 설계하기 전에 고조파 발생원에 대한 계통조건 등의 자료조사와 이론 고조파 및 비이론 고조파를 산출해야 한다. 비이론 고조파는 현장실측을 통하여 자료를 수집하고, 이론 고조파는 계산 및 고조파 해석 프로그램에 의해서 구할 수 있다. 이러한 자료에 근거하여 기본파 및 고조파 전압·전류를 알면 콘덴서 및 리액터의 정격전압과 전류, 유효·무효전력 및 손실도 계산할 수 있다. 수동필터용 소자들의 정격은 소손을 방지하기 위하여 최대 기본파 전압·전류, 최대 주파수 변동, 여타의 고조파 발생원 또는 수동필터들간에 나타날 수 있는 공진조건등을 충분히 고려하여 설계해야 한다.

수동필터 설계시 고려할 사항은 다음과 같다.

1) 전원 임피던스, 2) 전원계통의 주파수 변동, 3) 전원계통에 포함된 고조파 발생량, 4) 필터의 진상용량, 5) 고조파 억제목표의 기준값, 6) 계통 및 부하의 조건

2.2.1 콘덴서 설계

콘덴서 설계시 기본파 전압과 고조파 전압이 중첩하여 인가되어 단자전압이 상승하더라도 그 전압상승에 견딜 수 있도록 절연을 강화해야 한다. 또한 기본파 용량에 고조파에 의한 용량이 중첩되어 콘덴서 온도상승의 요인이 되므로 방열면적을 크게 하고, 온도변화에 의한 정전용량의 변화율이 적은 재료를 사용해야 한다.

2.2.2 리액터 설계

기본파와 고조파의 합성된 전류에 대해서 자기포화를 일으키지 않도록 정격 기본파 전류에 대한 자속밀도를 낮추고 철심재료로 비자성체를 사용 또는 공심형으로 제작하는 것이 바람직하다. 또한 고조파에 의한 국부발열을 방지하기 위하여 철심내부에 갭(gap)을 충분히 두고 외전류손, 표피효과에 의한 도체내 손실증가를 방지하기 위해 병렬도체수를 늘리고 도체의 전류밀도를 낮춘다.

2.2.3 수동필터 시스템

그림 1은 수동필터 시스템의 구성도를 나타낸다. 시스템을 살펴보면 측정부(A)를 통하여 계통의 전압 및 전류값을 읽어 들인다. 이 값을 가지고 분석·제어부(B)에서 고조파의 총합왜형률(THD)과 차수별 함유율을 산출하고 설정한 차수별 고조파 기준치를 초과할 경우, SSR(Solid State Relay:D)에 동작지령을 내려 차수별 고조파 필터가 각각 동작하도록 한다. 계통의 고조파는 상시 감시회로를 통하여 연속적으로 분석되며 이 분석자료를 토대로 고조파 필터가 차수별로 제어될 수 있도록 투입·개방 지령을 반복하여 수행한다. 분석·제어부(B)에 3개의 통신포트를 통하여 두 측정부(A)의 데이터를 분석하여 표시부(컴퓨터:C)에 전송하고 설정값

에 따라 각 고조파 필터를 차수별로 제어한다.

- A : 측정부(3상 전압 및 전류 측정)
- B : 분석·제어부(고조파 분석 및 필터 제어)
- C : 표시부(컴퓨터로 상태 감시, 제어 및 출력)
- D : SSR(필터 개폐를 위한 무접점 릴레이)

2.3 수동필터 설치 효과

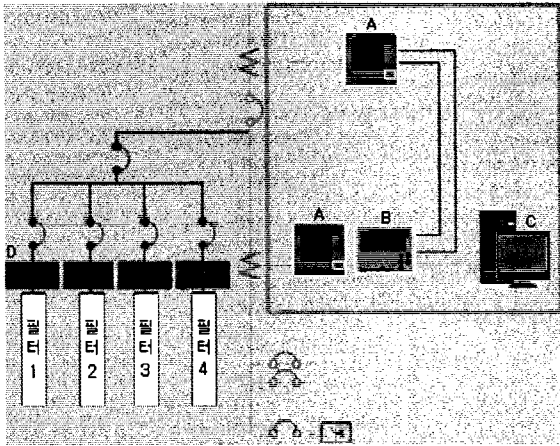


그림 1 수동필터 시스템 구성도

2.3.1 컴퓨터 모의실험 결과

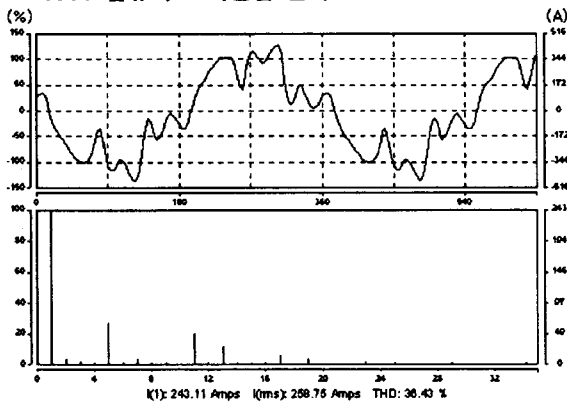


그림 2 필터 설치전의 전류파형 및 스펙트럼

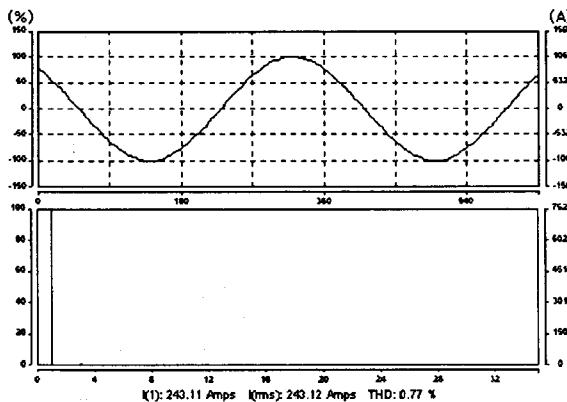


그림 3 필터 설치후의 전류파형 및 스펙트럼

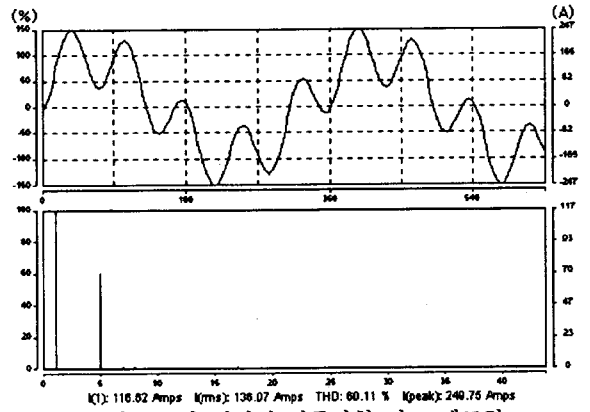


그림 4 5차 필터의 전류파형 및 스펙트럼

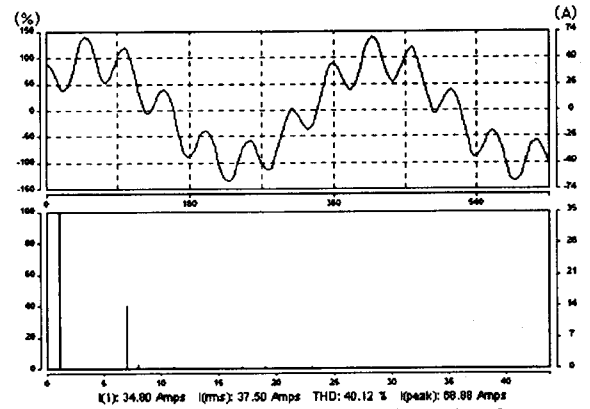


그림 5 7차 필터의 전류파형 및 스펙트럼

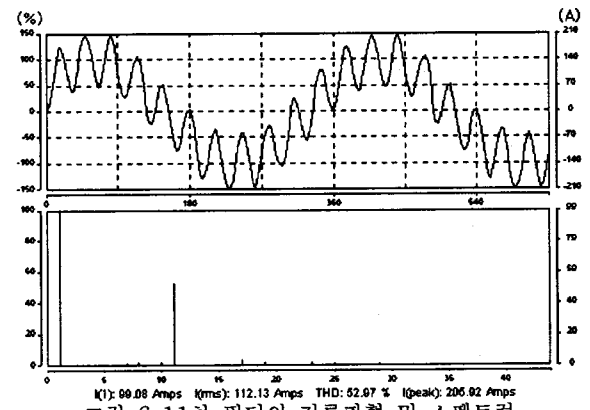


그림 6 11차 필터의 전류파형 및 스펙트럼

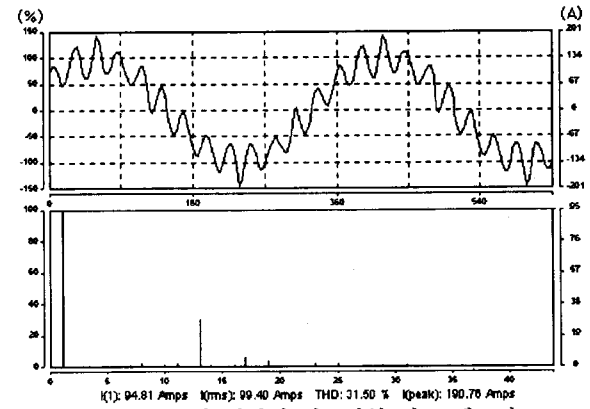


그림 7 13차 필터의 전류파형 및 스펙트럼

2.3.2 현장적용 결과

수동필터 시스템의 설계·제작 및 현장적용을 위하여 설치현장에 대한 자료조사를 실시하고, 고조파 발생량을 파악하기 위하여 1회를 4시간/일 기준으로 5회 실시하였다. 현장의 작업조건에 따라 부하조건이 변동하기 때문에 지속적으로 고 정확한 측정자료가 필요하였다.

측정자료를 근거로 설계·제작된 수동필터는 그림 1과 같이 배전반 주개폐기 2차측에 설치하였다. 수동필터의 설치 전·후를 비교하여 그 효과를 검증한 자료를 그림 8 ~ 11 과 표 1 에 나타냈다. 실측 데이터의 신뢰성을 확보하기 위하여 동일 성능의 동일 장비로써 측정을 실시하였다.

표 1 필터 설치 전·후 비교

조건	실효값		총합 왜형률		전력			역률 (%)
	전압 (V)	전류 (A)	전압 (%)	전류 (%)	피상 전력 (kVA)	유효 전력 (kW)	무효 전력 (kVar)	
필터 설치 전	224.9	281.0	7.53	21.94	63.6	41.4	48.2	65
필터 설치 후	232.4	172.7	1.69	7.83	40.1	38.5	11.2	96

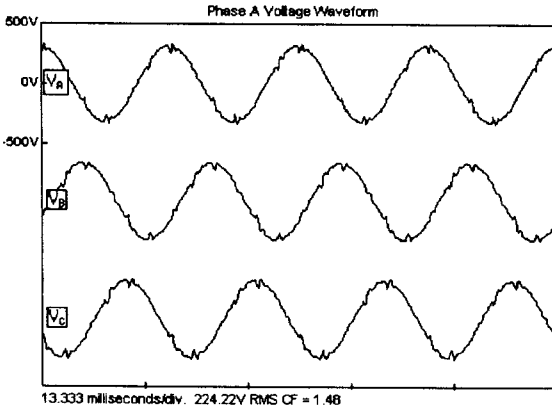


그림 8 필터 설치전의 전압파형

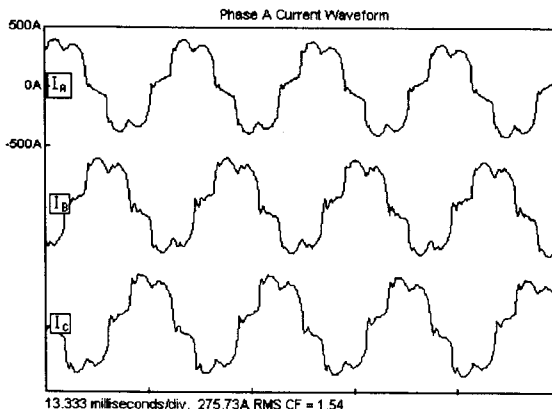


그림 9 필터 설치전의 전류파형

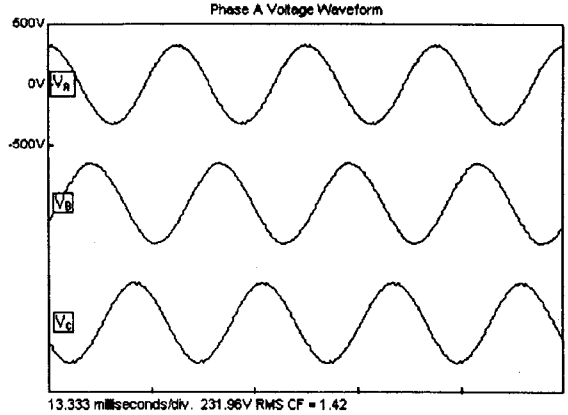


그림 10 필터 설치후의 전압파형

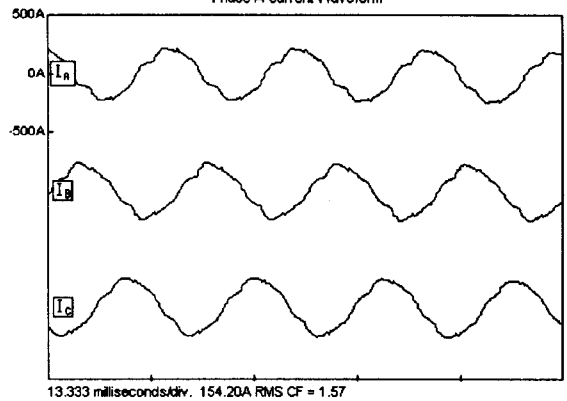


그림 11 필터 설치후의 전류파형

3. 결 론

현재 국내의 고조파 저감장치에 관한 연구 및 장치는 수·배전 계통전반에 걸친 대응량 중심으로 이루어지고 있으나 본 연구에서는 수용가 구내의 부하설비 중심의 소용량 장치에 초점을 두었다.

이 장치를 현장에 적용한 결과

- 1) 고조파 발생량이 우세한 특정차수에 대한 효과적인 고조파 저감
- 2) 역률개선에 의한 무효전류분 및 전력 저감에 의한 에너지 절감
- 3) 고조파 분석·제어장치를 채용함으로써 수동필터의 문제점으로 지적되고 있는 고조파 확대현상 방지와 같은 효과를 나타내는 것으로 드러났다.

본 연구에서 개발한 고조파 저감장치를 이용하여 부하설비에서 발생하는 고조파와 전원계통측으로 유출하는 고조파를 저감시킬 경우, 고조파에 의한 장애를 상당 부분 해소시킬 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

- (1) "배전계통의 고조파 장애 방지대책", 전기협동연구, 37권 3호, 1981
- (2) 고조파 억제대책 특별조사위원회, "고조파 억제대책 기술 지침", 일본전기협회, 1995
- (3) Mohmoud, A. A., "A method for analysing harmonic distortion in ac power systems", IEEE Trans., PAS-100, 1982