

부하설비의 고조파 저감을 위한 수동필터 설계

손 재현*. 강 창섭, 이 흥기, 윤 철섭
한국전기안전공사 부설 전기안전시험연구원

Design of Passive Filter for Harmonic Elimination of the Load System

Jae-Hyun Son, Chang-Seob Kang, Hong-Gee Lee, Chul-Sup Yoon
Electrical Safety Laboratory Research Institute

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 results indicate the efficiency of designed passive filter.

1. 서 론

고조파는 교류계통에 비선형부하가 연결될 때 나타나며 고조파전류로 인한 계통 리액턴스 전압강하는 결국 교류전압의 왜형을 초래한다. 고조파 발생원으로는 변압기, 리액터 등 포함특성을 갖는 기기, 전력전자장비 및 용접기, 아크 발생장비 등을 들 수 있다. 이들 중 최근 사용이 급증하고 있는 전력전자변환장치들은 스위칭에 의한 제어특성으로 인해 교류계통에 많은 고조파를 주입시키고, 역률까지 저하시키는 문제점을 내포하고 있으며 이로인한 장해사례가 증가하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 고조파 저감 대책에 관한 많은 연구가 진행되어왔으며 가장 대표적인 방법으로 수동필터, 상수증대법, 능동필터 등이 있다. 본 논문에서는 6 펄스 정류기를 사용하는 실제 계통에 대한 수동필터의 현장적용화를 목적으로 정류기에서 발생하는 고조파를 측정·분석하고, 현장설비조건을 근거로 계통조건 변화에 의한 각 지점별 고조파 발생량 및 유출량을 예측하여 필터를 설계하였다. 설계된 수동필터는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 고조파 저감효과를 검증하였다.

2. 수동필터의 설계 이론

수동필터는 R, L, C로 구성되며 그 크기는 제거하고자 하는 고조파의 주파수에서 직렬공진이 발생되도록 설정한다. LC 필터에는 여러가지 종류가 있으나 일반적으로 사용되는 것은 L, C의 값을 공진

시키고자 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 동조필터

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

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

최저의 고조파 전압을 발생하는 최적 공진도 Q는

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

로 표현된다.

2.2 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 예민하게된다.

3. 시뮬레이션

3.1 설비모델

그림 1은 본 연구의 사례연구 대상설비의 현장설계 계통도를 나타낸다. 대상설비의 수전용 변압기는 22.9kV/6900kVA와 22.9kV/4500kVA이며, 배전전압은 6.6kV로 2feeder로 구성되어 있다. 이 설비의 특징은 배전용 변압기 전체가 몰드형으로 되어

있으며 부하설비는 19대의 6 펄스 SCR 정류장치로 구성되어 있다. 몰드변압기의 수명은 사용조건에 따라 다소의 차이가 있으나 평균 15~20년 정도이나 본 설비의 몰드변압기는 5년정도로 심각한 장해가 발생되는 특징을 나타내었다.

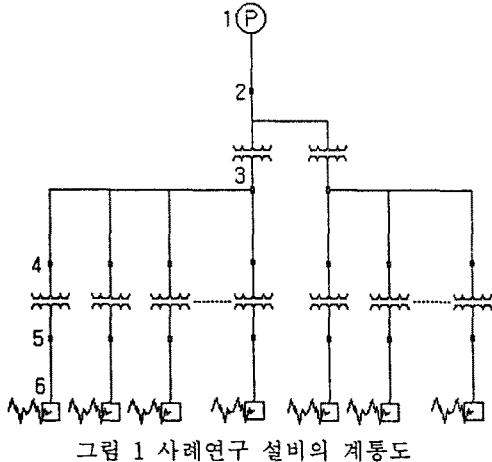


그림 1 사례연구 설비의 계통도

3.2 현장 설비조건

고조파 억제용 수동필터를 단순하게 고조파 측정만의 결과로 설계하여 현장에 적용할 경우 부하사용조건, 선로조건, 외부영향 등에 의하여 고조파를 확대시켜 사고의 위험이 있으므로 설비사양을 정확히 파악하고 필터설계에 적용하여야한다. 사례연구 계통모델의 설비조건은 표 1 과 같다.

표 1. 계통모델의 설비사양

	변 압 기		전 선	
node 2~3	결 선	△-△	전 압	22.9 kV
	용 량	6900 kVA	종 류	CN\CV
	전 압	22.9 kV	굵 기	3250 mm ²
	%임피 던스	5.79 %	결 이	300 m
	변 압 기		전 선	
node 4~5	결 선	△-△	전 압	6.6 kV
	용 량	1000 kVA	종 류	CV
	전 압	6.6 kV	굵 기	325 mm ²
	%임피 던스	5.25 %	길 이	100 m
	6 펄스 정류기		전 선	
부 하	전 압	220 V	전 압	220 V
	상 수	6 상	종 류	CV
	제어각	30°	굵 기	250mm ² × 2
			길 이	150 m

3.3 고조파 분석

그림 2 는 고조파발생원인 정류기부하에서 실측한 전압파형과 고조파 스펙트럼을 나타낸다. 그림에서와 같이 3상계통의 6펄스 정류장치에서 싸이리스터 턴-온시 과정에 60° 간격으로 분열이 발생된다. 이때, 주기적인 임펄스 전압과 고조파로 인한

전류증가가 변압기의 절연을 저하시켜 변압기의 수명을 단축시키는 원인으로 작용된 것이다. 또한, 그림 2에서와 같이 총합왜형률은 44.12%이며, 제 5, 7차조파가 왜형률의 대부분을 차지하고 있다. 그림 3은 수전점에서의 전압파형과 고조파 스펙트럼을 나타내며, 총합왜형률은 23.14%로 타 수용가 및 배전계통에 유출되어 전원파형을 심하게 왜곡시키는 장해를 발생시킬 수 있다.

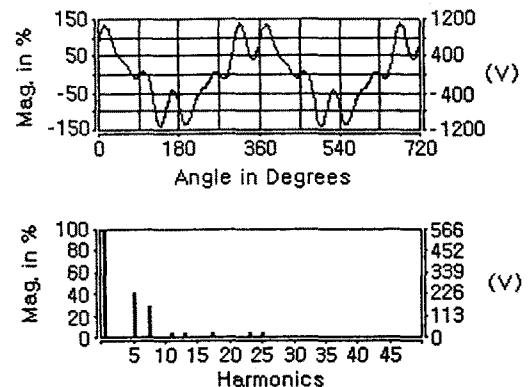


그림 2. 정류기에서의 전압파형과 고조파 스펙트럼

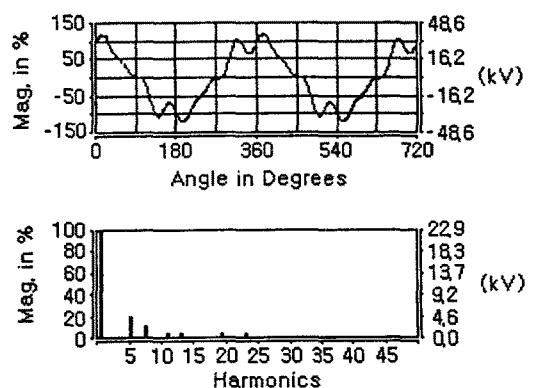


그림 3. 수전점에서의 전압파형과 고조파 스펙트럼

3.4 필터설계

그림 2, 3에서와 같이 대상설비는 제 5, 7차 조파가 왜형률의 대부분을 차지하므로 제 5, 7차 조파의 동조필터를 IEEE 규정을 적용하여 특고압 배전계통에서는 3%, 저압 배전계통에서는 5%이하를 목표로 수동필터를 설계하였다. 고조파 필터의 C는 기본파에서 무효전력의 공급원으로 작용하므로 대상설비의 현재 역률 85%를 97%로 개선할 수 있는 C값으로 선정하였다. 선정된 C 값에 따라 제 5, 7차 고조파 필터의 L값을 구하고 식(1),(2)에 의하여 R값을 결정하였다.

제 5 고조파 필터는 다음과 같이 계산된다.

$$Q = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) = 300 [\text{kVA}]$$

$$C_5 = 1003 [\mu\text{F}]$$

$$X_{C5} = 2.646 [\Omega], X_{L5} = \frac{1}{16.5} X_{C5}$$

$$X_{L5} = 0.15876 [\Omega]$$

$$L_5 = 4.123 \times 10^{-4} [\text{H}], X_{05} = 0.6481 [\Omega]$$

$$R_5 = 15.81 \times 10^{-3} [\Omega] \text{ 이 된다.}$$

제 7 고조파 필터는 다음과 같이 계산된다.

$$C_7 = 1003 [\mu\text{F}],$$

$$X_{C7} = 2.646 [\Omega], X_{L7} = \frac{1}{40} X_{C7}$$

$$X_{L7} = 0.06615 [\Omega]$$

$$L_7 = 1.755 \times 10^{-4} [\text{H}], X_{07} = 0.4183 [\Omega]$$

$$R_7 = 10.20 \times 10^{-3} [\Omega] \text{ 이 된다.}$$

여기서, 제 5조파 필터설계시 L값은 C값의 4%를 선정하는 것이 정확하게 동조할 수 있는 조건이 되나, 계통의 제반 조건들의 미세한 변화에도 쉽게 용량성이 되어 고조파를 확대시킬 우려가 있으므로 L 값을 C 값의 6%로 선정하였으며, 제 7조파 필터는 2.5%로 선정하였다.

3.5 시뮬레이션 결과

그림 4, 5는 설계된 수동필터를 고조파 발생원에 설치하였을 경우 수전점 및 발생원측 전압파형과 스펙트럼을 나타내고 있다. 표 2는 필터설치 전·후의 전류와 총합파형률의 변화를 나타낸다. 수전점과 발생원측 총합파형률이 각각 1.27%, 2.37%로 IEEE 기준(특고압 계통: 3%, 저압배전계통: 5%)을 만족하는 것으로 나타났다. 필터 설치전에는 부하전류가 1829[A]가 훌륭 고조파 전류의 중첩에 의한 변압기 용량을 감소시키고 전력손실을 증가시켰으나, 필터 설치후에는 1645[A]의 전류가 훌륭 약 200kVA의 변압기 용량을 증가시키는 결과가 되었다.

4. 결 론

본 논문에서는 6 필스 정류기를 사용하는 실제 계통에 대한 수동필터의 현장적용화를 목적으로 정류기에서 발생하는 고조파를 측정·분석하고, 현장 설비조건을 근거로 계통조건 변화에 의한 각 지점별 고조파 발생량 및 유출량을 예측하여 필터를 설계하였다. 시뮬레이션을 통한 고조파저감효과를 검증한 결과총합파형률은 44.12%에서 2.37%로 현저히 감소하였고, 약 200kVA의 변압기 용량 증가효과를 얻을 수 있었다. 따라서 본 수동필터는 현장 조건을 정확히 고려하여 설계된 것이며 현장적용화도 가능할 것으로 보인다. 향후, 연구과제로 고조파 발생원 및 계통별 특성, 다양한 현장조건을 고려한 수동필터 설계기법 정립에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

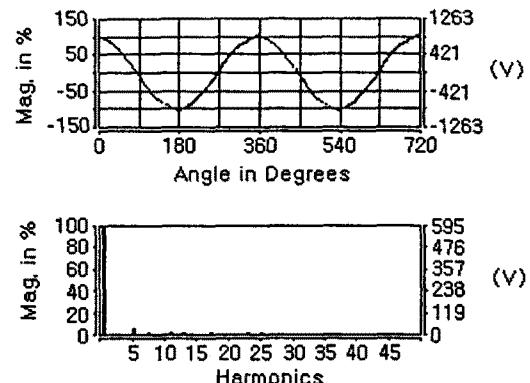


그림 4. 정류기에서의 전압파형과 고조파 스펙트럼

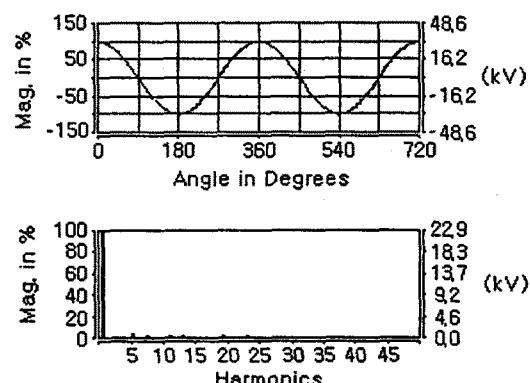


그림 5. 수전점에서의 전압파형과 고조파 스펙트럼

표 2. 전류 및 총합파형률

		설치전	5차필터	5,7차필터
배전용	1차전류	174.6 [A]	159.2 [A]	157.2 [A]
변압기	2차전류	1829.5 [A]	1667.1 [A]	1645.1 [A]
총합파	수전점	23.14	5.60	1.27
형률[%]	부하측	44.12	10.48	2.37

(참 고 문 헌)

- [1] E.B. Shahrodi and S.B. Dewan, "Steady state characteristics of the six pulse bridge rectifier with input filter," Conf.Rec.IEEE IAS Annu.Meet., pp.840-845, 1984.
- [2] H. Kawahira et al, "Active power filter," in Conf.Rec.IPEC'83, pp.981-992, 1983
- [3] J.Arriaga, D.A.Bradley, P.S.Bodger, "Power System Harmonics," John Wiley & Sons, 1985, pp.296-324.
- [4] 高調波對策専門委員會, "電力系統における高調波とその対策," 46-2, 電氣協同研究會, 1990. 6.
- [5] IEEE Guide for Harmonic Control and Effective Compensation of Static Converters, IEEE Standard 519, 1981.