

필터용 리액터 및 커패시터의 동작 분석

김종겸*, 박영진*, 이은웅**
 강릉대학교*, 충남대학교**

Operation Analysis of Reactor & Capacitor for Filter

Jong-Gyeum Kim*, Young-Jeen Park*, Eun-Woong Lee**
 Kangnung University*, Chungnam University**

Abstract - 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 설치한 수동형 필터가 과전류 등에 의해 고장이 발생하는 비율이 높다. 이는 비선형 부하에서 발생한 고조파를 저감하기 위해 설치한 필터가 고조파 성분을 흡수하기 때문으로 리액터와 커패시터를 직렬로 구성할 경우 존재하는 전압 및 전류의 동작특성을 모의 및 측정 분석하여 고장이 빈번하게 발생하는 이유를 분석하여 대안을 제시할 필요가 있다.

1. 서 론

유도전동기와 같은 부하는 유도성이기 때문에 전원에서 무효 전력을 제공할 경우 역률이 낮아지기 때문에 부하측에서 콘덴서 등을 설치하여 무효전력을 제공할 경우 역률을 높일 수 있다. 이런 선형부하에도 최근 비선형 부하에서 발생하는 고조파의 영향을 줄이기 위해 역률 보상 커패시터에 리액터의 설치를 권고하고 있다.

비선형 부하는 전력변환과정에서 고조파를 발생한다. 발생된 고조파 전류는 임피던스가 낮은 부하 또는 기기에 영향을 주기 때문에 그 영향을 줄이기 위해 필터를 사용하고 있다. 이 고조파의 영향을 줄일 수 있는 필터 중에서 능동형필터는 가격이 높아 비경제적이지만, 수동형 필터의 경우 특정 고조파만을 줄이는데 매우 경제적이다.

수동형 필터는 리액터와 커패시터를 직렬로 연결한 것으로서 특정 차수의 고조파를 줄이는데 매우 효과적이다. 이 수동형 필터는 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 흡수하기 때문에 다른 기기에 비해 고장 발생이 높은 편이다. 수동형 필터에 사용되고 있는 리액터와 커패시터에서 고장의 발생비율은 리액터가 커패시터에 비해 높은 편이다. 이는 고조파를 흡수하는데 커패시터가 큰 역할을 하지만, 그 영향을 줄이는데 사용되는 리액터도 큰 역할을 하고 있기 때문이다. 따라서 이와 같은 고장 발생의 원인을 분석하여 저감 방안을 찾는 것이 중요하다.

본 연구에서는 비선형 부하의 고조파 저감을 위해 설치하는 필터에서 커패시터 및 리액터에 대한 전압 및 전류의 동작 특성을 모의 측정을 통해 분석하고자 한다.

2. 고조파와 필터

2.1 고조파

고조파(harmonics)는 전압 파형과 다른 형태의 전류가 흐르는 것으로서 비선형 부하(non-linear load)라고도 한다. 고조파의 발생원은 전력변환장치, 아크로 등 이며 불규칙한 변동전류를 발생한다.

전력변환장치는 교류에서 직류로 변환하는 과정에서 고조파 성분이 발생하는 것으로서 반도체 기술의 발달에 따라 소용량의 가정용 기기에서 중대형의 산업용 및 공업용에 이르기 까지 다양한 기기가 보급되어 있으므로 많은 고조파를 발생한다. 특히 최근 각광받고 있는 신재생에너지 분야에서도 전력변환장치의 사용이 증가하고 있어 고조파의 크기는 더욱 확대될 것이다.

2.2 고조파에 의한 영향

전력변환과정에서 발생한 고조파는 손실의 증가는 물론이고 연결된 시스템에 영향을 주어 장애를 발생하고 있다. 고조파가 전기설비 및 기기에 영향을 주어 고장이 발생하게 하는 메커니즘은 다음과 같은 것들이 있다[1].

〈표 1〉 고조파 장애 발생 메커니즘

장애 모드	장애발생 메커니즘
고조파에 의한 과전류	실효값 전류의 증대로 저항 및 유전손실의 증대로 기기의 과열 과전류 증대로 철손 증대에 의해 기기의 가열 및 이상음, 진동의 발생
고조파에 의한 誘電障害	전자유도에 의한 전자 노이즈 발생
고조파에 의한 전압 왜형	동기회로의 위상 불일치 전압 파고치 저하로 기기의 오동작, 부동작 발생

표 2는 고조파에 의해 장애를 받는 필터용 부속기기의 장애 형태를 나타낸 것으로서 과대한 전류가 흘러 과열, 소손되고, 그 중에서도 절연유가 기화 팽창해서 케이스가 파열하기도 하며, 단락에 의해 폭발하는 경우도 발생한다.

〈표 2〉 고조파에 의한 영향

장애 기기	장애 형태
콘덴서	과대 전류에 의해 과열, 진동, 소음, 소손(전체 장애의 25%)
리액터	과열 소손(전체 장애의 약 65%)
퓨즈	과대 전류에 의해 소손

2.3 필터

전력변환장치 중에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 3상 전력 변환장치로서 대부분 6개의 전력소자를 사용하기 때문에 $6n \pm 1$ 차의 고조파를 발생한다. 그 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 5고조파를 줄이기 위해 설치하는 필터의 경우 리액터는 커패시터 용량에 대해 다음과 같이 계산한다.

$$5\omega L = \frac{1}{5} \frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

$$\omega L = 0.04 \frac{1}{\omega C}$$

식 (1)에서는 필터용 리액터의 임피던스는 커패시터의 임피던스에 4%이지만 용량성일 경우 위험하므로 유도성으로 운전할 필요가 있기 때문에 실제로는 6%로 적용하고 있다. 또한 역률 보상을 위해 설치하는 커패시터에 연결하는 리액터는 회로전압의 전압 왜형을 줄이고, 콘덴서 투입시 돌입전류를 억제하는 역할을 하고 있다.

커패시터에 리액터를 연결할 경우 전압이 상승한다. 이때 커패시터에 걸리는 전압(V_c)은 직렬로 설치한 리액터(L)에 의해 다음과 같다.

$$V_C = \frac{V}{1 - \frac{L(\%)}{100}} [V] \quad (2)$$

커패시터에 6%의 리액터를 연결할 경우 220[V]의 상전압에서 커패시터의 전압은 234[V]로서 당초 전압보다 14[V] 정도가 상승한다. 그러나 국내에서는 이 전압상승분을 고려하지 않고 계산하는 경우가 많다. 따라서 커패시터 용량에 변화를 고려한 해석과 적용이 필요하다.

커패시터에 연결되는 리액터의 전압(V_L)은 식 (2)의 전압으로부터 식 (3)으로 나타낼 수 있다.

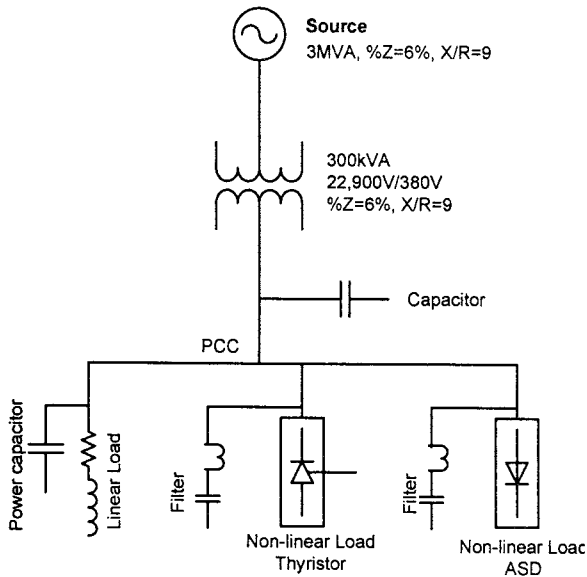
$$V_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \times V_C \times \%L [V] \quad (3)$$

380[V]의 회로전압에서 식 (3)으로 리액터 전압을 계산하면 14[V]이지만, 이를 고려하지 않고, 단순히 6%만을 고려할 경우 리액터 전압은 13.2[V]로서 실제보다 낮게 된다. 그러나 리액터 전압은 커패시터에 걸리는 전압상승분을 고려하여 구해야 한다. 또한 이 리액터에는 기본파 성분 외 고조파를 흡수할 때 발생하는 고차 성분의 전압이 존재하고 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

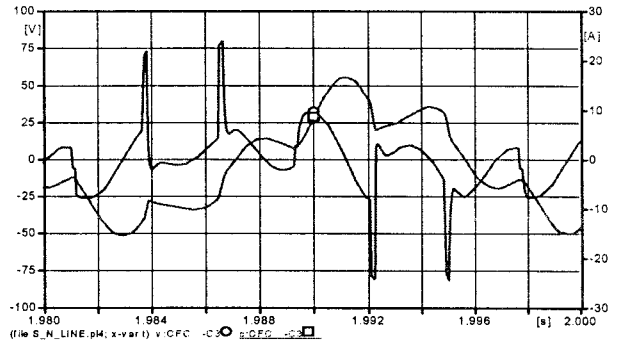
본 연구에서는 사이리스터 정류기를 사용할 경우 발생하는 고조파를 줄이기 위해 사용되는 커패시터 및 리액터 직렬연결 필터가 받는 전압 및 전류의 영향을 해석하였다. 해석에는 전자계과도해석 프로그램을 이용하였다.

그림 1은 일반 수용가에서 선형 및 비선형 부하가 함께 사용되고 있는 단선결선도를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 사이리스터 정류기에 발생하는 고조파를 줄이기 위해 필터를 연결할 경우 동작 특성을 해석하였다.

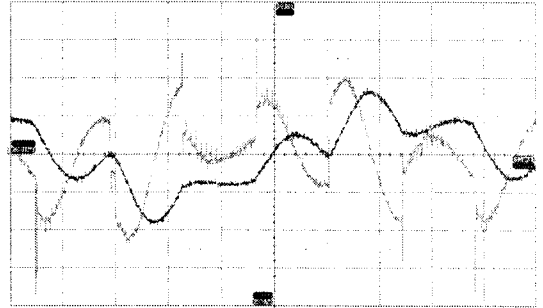


〈그림 1〉 단선 결선도

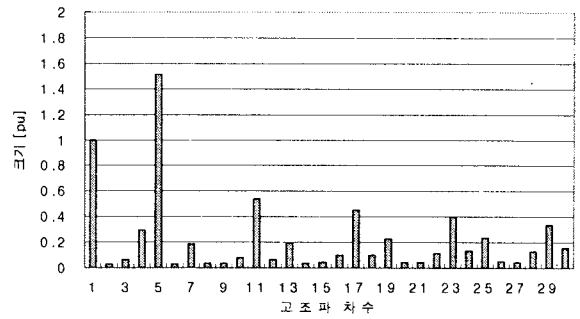
그림 2는 필터용 리액터에서의 전압 및 전류 특성을 분석한 결과이다. 그림 2(a)는 모의한 것이고, 2(b)는 측정된 것으로서 일치한 결과를 나타내고 있다. 리액터에서 반 주기 동안 두 번의 전압 피크가 발생하고 두 번의 피크 사이에 전압 Dip이 존재함을 확인할 수 있다. 그림 2(c)와 (d)는 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼으로서 리액터에서 5고조파 전압은 기본파 전압보다 높게 나타난다. 이것은 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 흡수하기 때문으로 판단된다. 그림 2(c)에서와 같이 전압 성분에는 많은 고조파가 존재하고 있음을 확인할 수 있다.



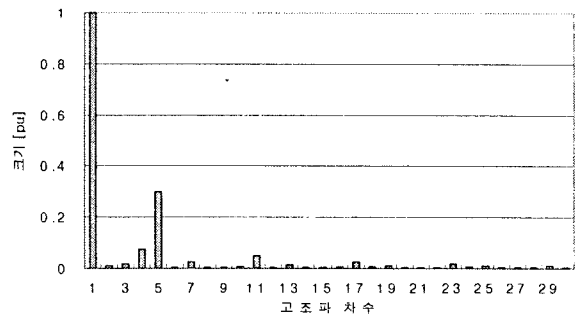
(a) 전압 및 전류(시뮬레이션)



(b) 전압 및 전류(측정)



(c) 전압 고조파 스펙트럼



(d) 전류 고조파 스펙트럼

〈그림 2〉 리액터에서의 전압 및 전류

그림 3(a) 및 (b)는 커패시터에서의 전압 및 전류에 대한 모의 및 측정결과를 나타낸 것이다. 커패시터에서 전압은 리액터에서와 전압 성분과는 달리 매우 정현적인 형태로서 고조파 성분이 매우 낮게 분포함을 그림 3(c)와 (d)를 통해 알 수 있다. 커패시터에 흐르는 전류는 리액터에 흐르는 전류와 동일하다.

4. 결 론

본 연구에서는 현장에서 사용되고 있는 수동형 필터가 다른 기기에 비해 고조파의 영향으로 고장 빈도가 높은 것을 분석한 결과이다.

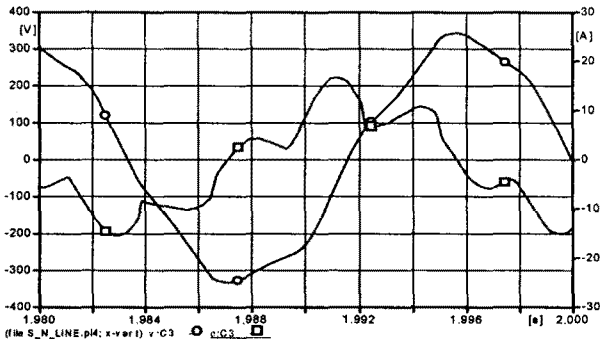
고조파의 영향을 줄이기 위해 커패시터와 리액터를 직렬로 연결한 수동형 필터를 고조파를 많이 발생하는 것으로 알려진 사이리스터 컨버터에 설치할 경우 고조파를 흡수함으로써 받는 전압 및 전류 스트레스를 분석한 결과이다. 모의 및 측정 결과에서 커패시터 보다는 리액터가 더 높은 스트레스를 받고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 커패시터에 리액터를 추가할 경우 받는 영향을 줄이기 위해서는 별도의 설계 및 제작 기준에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

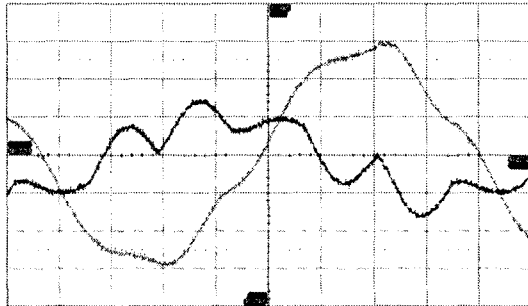
본 연구는 전력산업연구개발사업의 지원에 의하여 수행된 과제임(과제번호 : R-2007-3-186)

참고 문헌

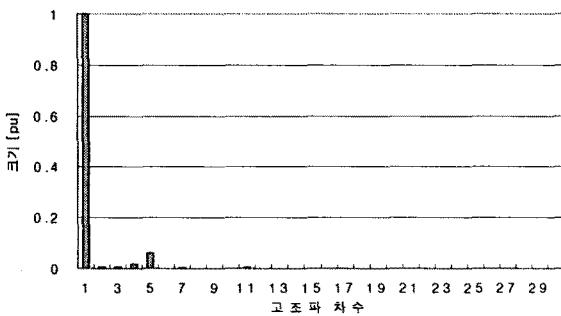
- [1] 일본전기학회 기술보고서, "부하공급계통 보호릴레이 시스템의 현상과 그 동향", No. 1006, 2005.3
- [1] KSC 4801, "저압 진상콘덴서", 2003
- [2] JIS C-4901, "저압 진상 콘덴서", 2000
- [4] H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.



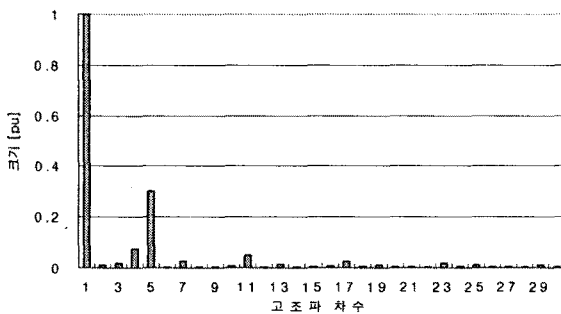
(a) 전압 및 전류(시뮬레이션)



(b) 전압 및 전류(측정)



(c) 전압 고조파 스펙트럼



(d) 전류 고조파 스펙트럼

〈그림 3〉 리액터에서의 전압 및 전류

비선형 부하에서 가장 많은 고조파를 발생하는 것으로 알려진 사이리스터 정류기를 사용하는 경우에 고조파를 줄이기 위해 설치한 수동형 필터에서 리액터와 커패시터에서의 전압 및 전류의 동작 특성을 분석한 결과 커패시터에서 보다는 리액터에 더 많은 스트레스 요인이 분포하고 있음을 모의 및 측정결과를 통해 확인할 수 있다.