

# 필터용 리액터의 특성 해석 (Characteristics Analysis of Reactor for Passive Filter)

김 종 검 · 박 영 진  
(Jong-Gyeum Kim · Young-Jeen Park)

## 요 약

전력용 커패시터는 유도성 부하의 낮은 역률을 보상하기 위해 설치하는 경우가 많지만, 전력변환장치에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 수동형 필터로서 리액터와 함께 사용되는 경우도 있다. 수동형 필터는 커패시터와 리액터를 직렬로 연결하여 사용한다. 이때 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 흡수하는 역할에서 리액터가 자주 소손 또는 열화 되어 정상적인 수명을 보장받지 못하는 경우가 많다. 본 논문에서는 비선형 부하에 사용되는 있는 수동형 필터를 PWM 인버터의 다이오드 정류기 전단에 설치 운전할 경우 받을 수 있는 전기적인 스트레스를 해석하였다.

## 1. 서 론

전력용 커패시터는 무효전력의 제공, 전압 안정화, 역률 개선 그리고 시스템 전력 손실의 감소에 따른 시스템 용량의 증가하기 위해 사용하기도 하고, 비선형 부하에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 리액터와 함께 수동형 필터로서 사용되기도 한다.

전력용 커패시터는 주로 온도, 전류, 전압 등의 영향으로 정상적인 수명이 보장받지 못하고 절연파괴 등으로 소손되는 경우가 많다. 커패시터의 수명에 큰 영향을 주는 요소로서는 온도 상승 외에 과부하, 전압변동, 고조파 등 전기품질에 관련된 영향을 받아 사고가 자주 발생하고 있다[1].

본 연구에서는 필터용에 사용되고 있는 커패시터 및 리액터의 전압 및 전류 특성을 분석하였다. 특히 리액터에서는 전압이 매우 찌르러져서 리액터의 전압 스트레스로 작용하는 것에 대해 분석하고자 한다.

## 2. 비선형 부하와 필터

### 2.1 비선형 부하

선형부하(linear load)란 본래 정상적인 동작 상태에서 인가 전압의 주기 내 전력원에 일정한 부하 임피던스를 나타내는 전기적인 부하장치로서 백열등 또는 유도전동기와 같은 부하를 말하고, 비선형 부하(nonlinear load)란 불연속적으로 전류를 끌어들이는 전기적인 부하 또는 부하의 임피던스가 정현적인 전압원의 주기 동안 내내 변화하는 것으로서 전력변환장치를 말한다.

비선형 부하는 전력변환과정에서 고조파를 발생하게 된다. 이 고조파를 손실의 증가는 물론이고 연결된 시스템에 장애를

발생하기 때문에 필터 등을 이용하여 줄여야 한다.

### 2.2 필터

비선형 부하에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 사용하는 필터로서는 능동형과 수동형이 있다. 능동형 필터는 모든 차수의 고조파를 줄일 수 있는 능력을 가지고 있지만, 가격이 높아 산업현장에는 커패시터와 리액터를 사용한 수동형 필터가 많이 적용되고 있다.

산업현장에서 적용하는 비선형 장치는 PWM 인버터를 이용한 가변속 드라이브 장치의 비중이 높아지고 있다. 이 비선형 장치는 컨버터부에 다이오드 정류기를 많이 이용하고 있어 에너지 변환과정에서 6개의 소자를 이용하기 때문에 5차 고조파가 가장 많이 발생하고 있다.

이 5차 고조파를 줄이기 위해 설치하는 필터의 경우 리액터는 커패시터 용량에 대해 다음과 같이 계산한다.

$$wL = \frac{1}{25} \frac{1}{wC} = 0.04 \frac{1}{wC} \quad (1)$$

그러나 실제로 4% 보다는 시스템의 안정성을 고려하여 6%를 많이 적용하고 있다.

필터용에서 커패시터의 전압( $V_c$ )은 직렬로 설치한 리액터(L)에 의해 다음과 같이 전압이 상승한다[2].

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

6%의 리액터를 적용할 경우 220[V]의 상전압에서 커패시터의 전압은 234[V]로서 14[V] 정도의 전압이 상승하게 된다. 이때 당초 380[V]의 선간전압은 405[V]로 되기 때문에 전압상승분을 고려한 설계 및 적용이 필요하지만 국내에서는 저압에 대한 규정이 마련되어 있지 않다. 그러나 현장에서는 리액터

의 추가로 커패시터에 전압이 상승할 경우 안전을 고려하여 한 단계 높은 정격의 커패시터를 적용하는 경우가 있다.

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

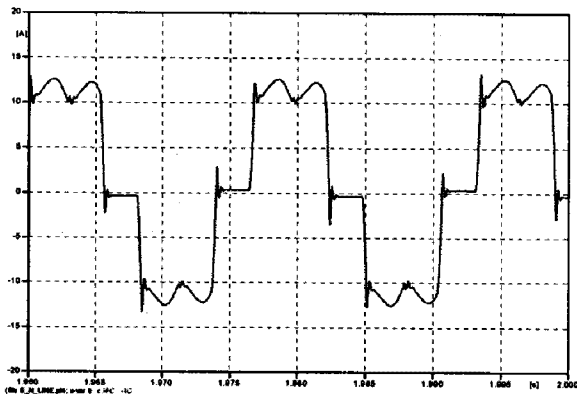
$$V_L = \frac{1}{\sqrt{3}} \times V_C \times \%L [V] \quad (3)$$

380[V]의 전압에서 6%의 리액터를 사용할 경우 식 (3)으로 계산하면 리액터 전압은 14[V]이고, 단순히 6%만을 고려할 경우 13.2[V]가 된다.

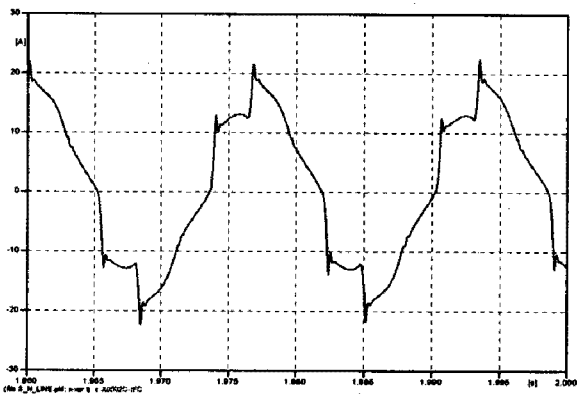
### 3. 시뮬레이션 및 결과 분석

PWM 장치의 가변속 드라이브를 이용하여 유도전동기 속도제어를 하는 경우에 필터를 사용하지 않은 경우와 필터를 적용한 경우의 전류파형을 분석하였다.

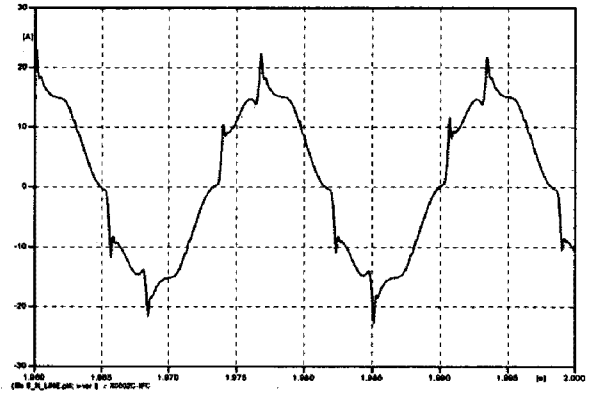
그림 1은 비선형 부하의 운전시 필터 적용 전후 전류파형을 나타낸 것이다. 5고조파를 줄이기 위해 4%와 6%의 리액터를 적용하여 계산하였다.



(a) 필터 설치 전



(b) 필터 설치 후 (6%)

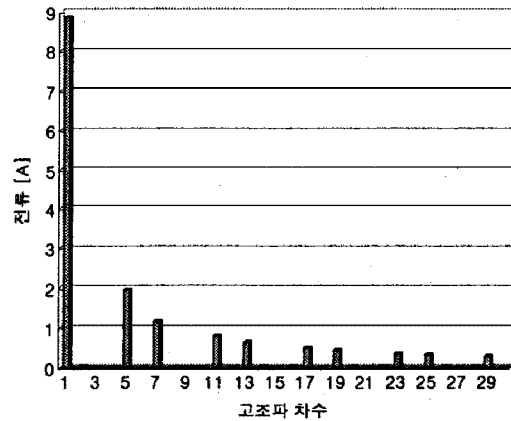


(c) 필터 설치 후 (4%)

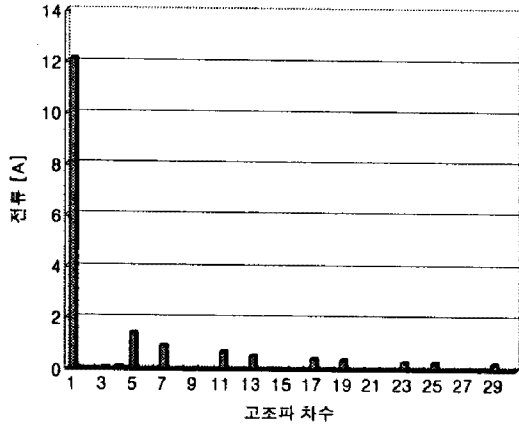
그림 1, 필터 적용 전류 전류파형

그림 1(a)에서의 같이 필터 적용 전에는 상당히 왜형된 전류 파형이 그림 1(b) 또는 (c)와 같이 같은 커패시터 용량에 4% 또는 6%의 리액터를 적용한 5 고조파 저감 필터를 사용할 때는 고조파 성분이 상당히 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

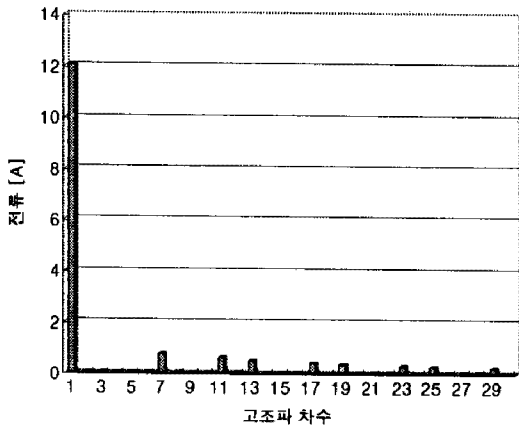
그림 2는 그림 1과 같은 전류 파형에 대한 고조파 분석 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서의 같이 기본파 성분 외 5, 7차 그리고 11, 13 차 및 17, 19와 같이 6n±1차에 해당되는 차수의 고조파가 모두 나타남을 확인할 수 있다. 기본파를 제외한 가장 높은 5고조파 성분을 줄이기 커패시터에 6%의 리액터를 사용한 필터를 적용한 경우의 결과는 그림 2(b)와 같다. 그림 2(b)에서는 고조파 성분이 줄어들어 기본파 전류가 그림 2(a)에 비해 높아짐을 확인할 수 있다. 그림 2(c)는 5고조파를 줄이기 위해 커패시터에 이상적인 4% 리액터를 적용한 경우 고조파 스펙트럼을 분석한 결과로서 그림 2(b)에 비해 5차 고조파는 거의 제거되고 나머지 차수의 고조파도 상당히 줄어 든다는 것을 확인할 수 있다.



(a) 필터 설치 전



(b) 필터 설치 후 [6%]



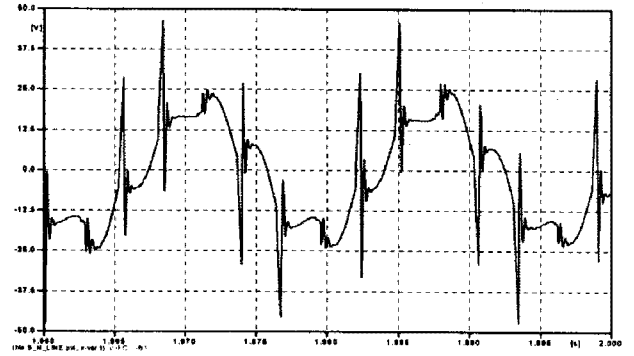
(b) 필터 설치 후 [4%]

그림 2. 필터 적용 전류 고조파 스펙트럼

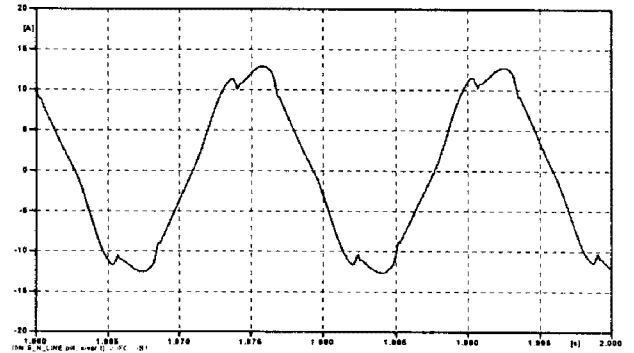
필터를 사용할 경우 고조파 성분이 줄어들고 기본파 전류 성분이 증가함에 따라 부하에 흐르는 전류가 증가하기 때문에 역률의 향상 및 시스템의 안정을 기대할 수 있다. 그러나 필터의 적용시 커패시터와 리액터는 전기적 스트레스를 받아 소손 및 열화를 일으키는 경우가 있다. 따라서 필터의 적용시 받을 수 있는 특성변화를 해석하였다.

그림 3과 4는 그림 1과 같이 고조파 전류를 저감하기 위해 설치하는 필터용 리액터와 커패시터에 걸리는 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다. 리액터는 커패시터의 6%로 선정하였다.

그림 3은 리액터에 걸리는 전압 및 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 3(a)는 리액터 전압으로서 상당히 왜형된 형태를 하고 있다. 이 파형에서 전압의 실효치는 상전압 219.6[V]에 대해 15.68[V]로서 식 (3)에 의해 계산한 13.176[V]보다 약간 높게 나타났다. 특히 전압의 피크치 존재는 권선에 전기적인 스트레스로 작용할 수 있어 수명에 큰 장애요인이 될 수 있다. 그림 3(b)는 리액터를 흐르는 전류파형으로서 실효치는 8.87[A]가 되었다. 리액터에 걸리는 전압 및 흐르는 전류값이 증가함에 따라 리액터의 용량도 증가하여 당초에 설치하는 정격에 비해 높게 운전된다.



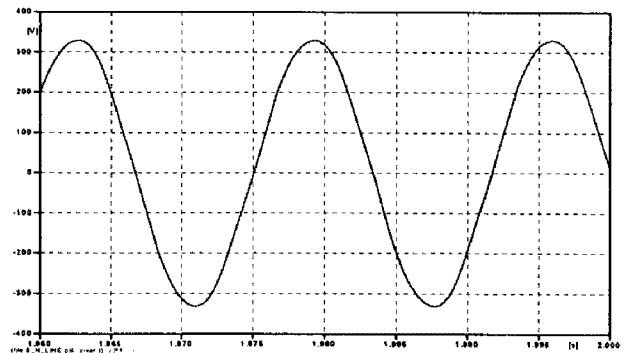
(a) 전압



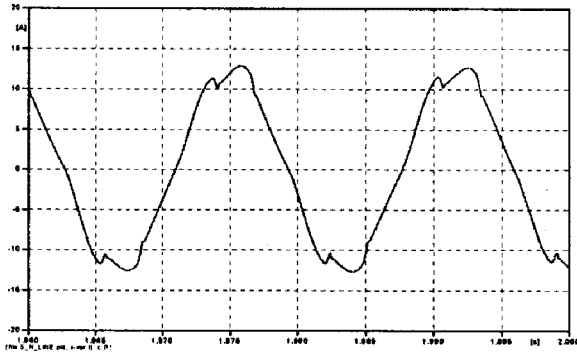
(b) 전류

그림 3. 리액터 전압 및 전류

그림 4는 그림 3과 같이 필터용으로 리액터에 연결되어 운전하는 커패시터의 전압 및 전류 파형이다. 커패시터에 걸리는 전압은 그림 4(a)와 같이 매우 정현적이지만, 리액터의 추가로 전압이 219.6[V]에서 235.05[V]로 약간 상승하였다. 실제 커패시터에 리액터를 추가할 경우 식 (2)에 의해 계산한 값 233.6[V] 보다 약간 높게 나타났다.



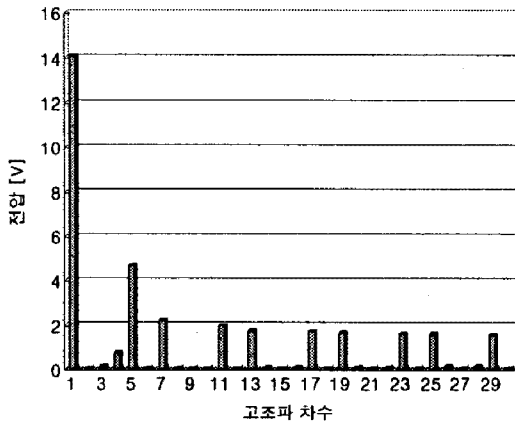
(a) 전압



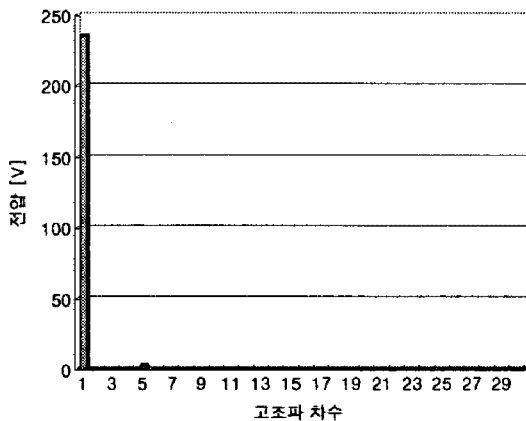
(b) 전류

그림 4. 커패시터 전압 및 전류

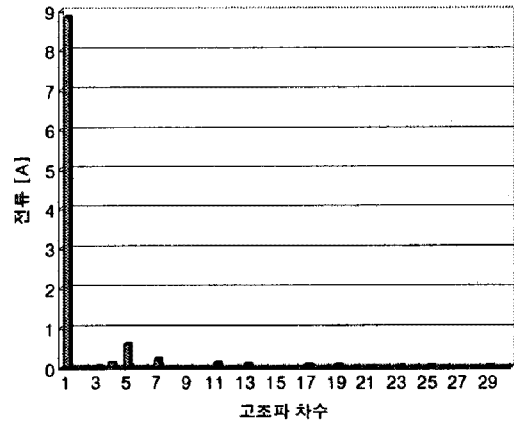
그림 5는 필터용 리액터 및 커패시터에서의 전압 및 전류 고조파 성분을 분석한 결과이다. 그림 5(a)는 그림 3(a)의 리액터의 전압 고조파 성분으로서 기본파 전압 외에도 고조파 성분이 많이 포함되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5(b)는 그림 3(b)에 대한 커패시터에 대한 전압 고조파 성분을 나타낸 것으로서 기본파 이외에는 거의 고조파 성분이 나타나지 않음을 확인할 수 있다. 필터에 존재하는 전압 고조파는 대부분 리액터에 그대로 반영됨을 확인할 수 있다.



(a) 리액터 전압 고조파



(b) 커패시터 전압 고조파



(c) 리액터 및 커패시터 전류 고조파

그림 5. 고조파 스펙트럼

그림 5(c)는 그림 3(b) 및 4(b)와 같이 리액터 및 커패시터에 흐르는 전류 고조파 성분을 나타낸 것으로서 기본파 이외는 고조파 성분이 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

비선형 부하에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 설치하는 수동형 필터에서 리액터와 커패시터의 전압 및 전류 파형과 고조파 스펙트럼을 분석하였다.

본 연구결과 비선형 부하에서 사용되는 수동형 필터에서는 커패시터보다 리액터가 전압 및 전류 스트레스가 더 많이 받기 때문에 열화 및 소손의 가장 큰 원인을 안고 있다고 판단 된다.

#### 감사의 글

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

#### 참고 문헌

- [1] Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitors", Taylor & Francis, 2005
- [2] JIS C 4901, "저압 진상콘덴서", 2000
- [3] KSC 4801, "저압 진상 콘덴서", 2002