

선형 및 비선형 부하 운전시 역률 보상 커패시터의 특성 해석

김종겸*, 박영진*, 이동주**, 이은웅*, 김일중**
 강릉원주대*, 충남대**, 호서대**

Characteristics Analysis of PFC at the Operation of Linear and Non-Linear Load

Jong-Gyeum Kim*, Young-Jeen Park*, Dong-Ju Lee**, Eun-Woong Lee**, Il-Jung Kim
 Kangnung-Wonju Univ*, Chungnam Univ**, Hoseo Univ**

Abstract - 전력용 커패시터는 전압 보상 및 부하에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 공급함으로써 역률을 향상시킬 수 있으며, 리액터와 직렬로 연결할 경우 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 흡수하여 전압 고조파 왜형을 줄이고 전류고조파를 흡수하는 필터로도 사용이 가능하다. 그러나 수용가 부하가 일정하지 않고 변동하거나 선형부하와 비선형 부하가 존재할 경우 커패시터가 고조파의 흡수 등으로 인해 고장이 나는 경우가 많은 편이다. 그래서 본 연구에서는 현장에서 각 부하기에 고조파를 줄이는 장치의 부착과 부착 전후 커패시터에 미치는 영향을 측정 분석하여 커패시터 규정과의 비교도 실시하였다.

1. 서 론

에너지의 효율적인 사용을 위해 비선형 부하인 전력변환장치의 사용이 점차 증가하고 있다. 이와 같은 비선형 부하의 사용은 전압 및 전류 파형을 왜형되게 하므로 전기품질에 나쁜 영향을 주고 있다. 이와 같은 상황에서 전기기의 신뢰도 증진을 위해 전압 및 전류 고조파에 대한 규정도 점차 세분화 및 낮은 허용범위를 요구하고 있다.

수용가에 사용하는 부하 중에서는 전동이나 전열과 같은 선형부하도 있지만, 전력변환장치를 이용하여 부하를 운전하는 비선형 부하의 사용이 점차 증가하고 있다.

선형부하 중에 유도전동기와 같은 경우에는 낮은 역률을 보상하기 위해 부하측 가까운 곳에 커패시터를 설치하여 부하에 필요한 무효전력을 커패시터가 대신 제공함으로써 요구하는 역률을 얻도록 하고 있다.

대부분의 수용가에서는 부하의 운전을 효율적으로 관리하기 위해 고조파를 발생하고 있는 비선형 부하인 전력변환장치를 많이 사용하고 있다. 이 전력변환장치는 변환과정에서 고조파를 발생시키고 있다. 발생한 고조파 전류는 전원측 또는 임피던스가 낮은 역률 보상 기기인 커패시터에 전달되어 전압 및 전류 스트레스로 작용할 수 있다. 이 전기적 스트레스는 장기적으로 기기에 영향을 주게 되므로 낮은 값이라도 주의가 기울여야 한다.

전기품질에 대한 관심 고조로 수용가에서 사용하는 기기에서 발생하는 고조파에 대한 제한이 점차 높아지고 있다. 전압 왜형율이 높을 경우 전기품질에 큰 영향을 미치므로 낮은 값으로 유지시켜야 한다. 특히 비선형 부하는 전기품질에 큰 영향을 줄 수 있는 것으로서 커패시터와 리액터를 사용하여 역률 보상 및 고조파 저감에 기여하지만 허용범위를 초과할 경우 이른 고장을 일으킬 수 있다[1]. 따라서 본 연구에서는 선형 및 비선형 부하가 함께 사용되는 설비에서 고조파 저감과 역률 개선이 가능한 커패시터의 사용으로 받을 수 있는 스트레스를 측정하고 커패시터에서 규정된 전류 허용범위와의 비교 분석을 실시하였다.

2. 선형 및 비선형 부하

2.1 선형부하

전압에 대해 전류의 위상이 일치하는 전동 및 전열과 같은 순수한 선형부하 외에도 전동기와 같이 전압에 대해 전류의 위상이 낮은 역률을 가진 선형부하도 사용되고 있다. 낮은 역률을 가진 전동기는 여자를 위해 필요한 커패시터를 부하측 가까운 곳에 설치하여 역률을 보상하고 있다. 순수한 선형부하만 존재할 경우 커패시터가 고장 나는 경우는 많지 않다. 그러나 선형부하 외의 높은 고조파 성분을 포함하는 비선형 부하의 존재는 커패시터에 나쁜 영향을 줄 수 있다.

2.2 비선형부하

인버터, 사이리스터와 같은 전력변환장치는 에너지변환과정에서 고조파를 발생한다. 이 고조파 성분의 존재는 자체는 물론이고 연결된 기기에도 영향을 준다. 특히 커패시터와 같은 전력기기는 주파수의 증가시 낮은 임피던스를 가지게 되므로 비선형 부하에서 발생한 고조파 전류를 아주 쉽게 받아들인다. 역률 보상 커패시터나 수동형 필터로 사용되는 커패시터가 가장 직접적인 영향을 받을 수 있다.

전력변환장치에서 발생하는 고조파를 줄이기 위해 앞단에 저감용 장치를 설치하는 경우도 있지만, 용량이 작을 경우 생략하는 경우도 있다.

3. 해석 및 결과 분석

선형 및 비선형 부하의 사용시 커패시터가 받을 수 있는 영향을 분석하기 위해 실험 회로를 구성하여 측정하고 허용되는 범위와 비교하였다.

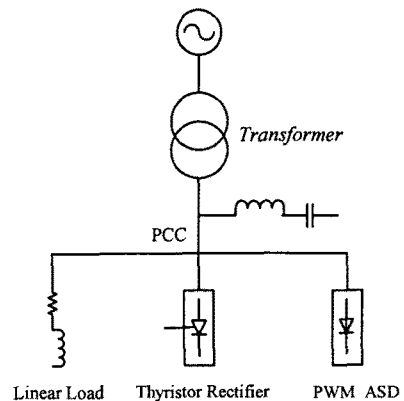


그림 1. 단선 결선도

그림 1은 선형 및 비선형 부하가 연결된 단선 결선도로서 선형 부하의 역률은 80[%]이고, 비선형 부하에는 사이리스터 정류기를 이용한 UPS와 유도전동기 가변속 제어를 위한 PWM 인버터가 연결되어 있다. 비선형 부하 기기에는 고조파 저감을 위한 필터 장치가 부착되어 있지 않고, 변압기 2차측에 역률 보상과 함께 전압왜형을 줄이도록 설계한 리액터가 부착된 커패시터를 연결하였다.

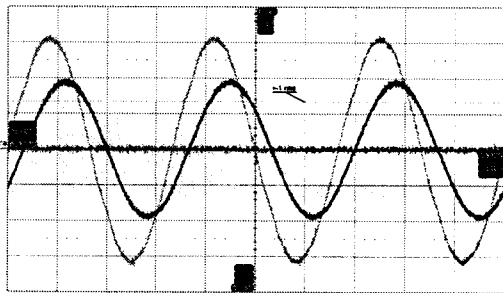
역률 보상 및 고조파 저감을 위해 설치하는 커패시터가 받는 스트레스를 해석하기 위해 선형 부하만의 운전과 비선형 부하만의 단독 운전 그리고 혼합 운전시에 변화를 측정하였다. 역률 보상을 위한 커패시터는 3상 380[V], 45[μ], 3.72[A]의 정격을 사용하였으며, 시스템 설계시 역률은 95[%]가 되도록 파라미터를 설정하였다.

표 1은 커패시터의 허용전압, 전류 및 용량에 대한 허용범위를 나타낸 것이다[2,3].

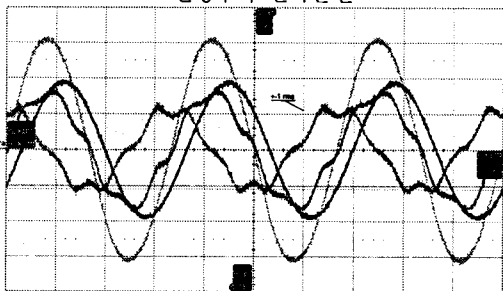
표 1 커패시터 허용 전압, 전류 및 용량

구분	배수	동작조건
전압	110%	24시간 중 8시간 이내
	115%	24시간 중 30분 이내
	120%	5분 이내
	130%	1분 이내
용량	135%	정격 무효전력
전류	135%	실효치
	130%	실효값(고조파 제외)

그림 2는 선형 부하만 운전한 경우로서 역률 보상 커패시터 투입전과 투입 후의 전압 및 전류 파형을 측정된 것이다. 그림 2a)에서와 같이 전압에 대해 부하측 및 전원측 전류 파형을 일치하며 지상이지만, 그림 2b)와 같이 리액터가 부착된 커패시터를 투입할 경우 역률을 매우 높아지지만 전원 및 커패시터에 약간의 전류 고조파 성분이 포함됨을 확인할 수 있다. 이때 커패시터에서의 전류는 3.97[A]로서 정격의 약 107[%]가 되었다.



선형부하 단독운전

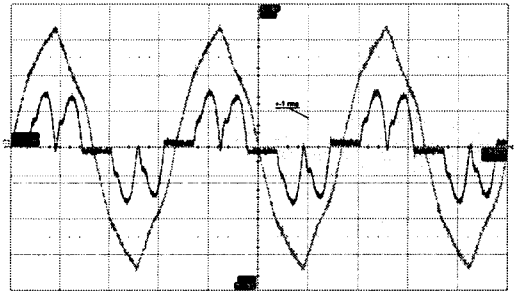


역률 보상 커패시터 투입후

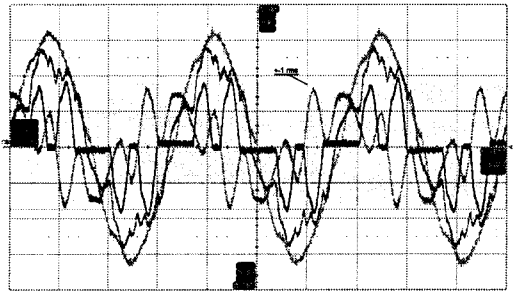
그림 2. 순수한 선형부하만 운전한 경우

다음 그림 3과 4는 비선형 부하와 선형 부하의 운전시 특성을 측정된 결과이다.

그림 3a)는 PWM 인버터로 유도전동기를 가변속 운전한 경우의 전원측 전압 및 전류 및 커패시터에서의 전류 파형을 나타낸 것으로서 전류 성분에는 고조파 성분이 많이 포함되는 것은 물론이고 전압파형도 꽤 왜곡된 것을 알 수 있다. 따라서 그림 1에서와 같이 낮은 역률 보상과 고조파를 저감할 수 있는 커패시터를 설치하고서 측정된 결과는 그림 3b)와 같다. 그림 3b)와 같이 전원 전압 및 전류 파형은 매우 개선되고, 역률도 향상되지만, 커패시터는 고조파 성분을 포함한 전류를 흡수하므로 꽤 왜곡된 형태를 나타내고 있다. 이때 커패시터에 흐르는 전류는 고조파 성분이 포함되어 있고, 정격전류의 128[%]로서 표 1에서 규정하고 있는 허용 전류 범위 이내에서 운전됨을 알 수 있다.



PWM 인버터 단독 운전시

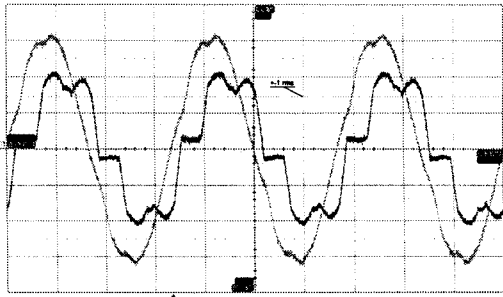


선형부하와 공동 운전시

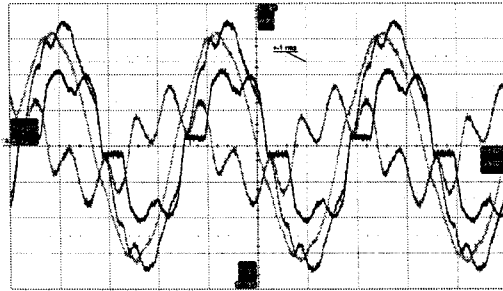
그림 3. PWM 인버터와 선형 부하 운전시

그림 4는 사이리스터 정류기를 단독으로 운전한 경우와 선형부하를 함께 사용할 경우 역률 보상 커패시터의 사용시 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림 4a)는 PWM 인버터를 사용한 경우에 비해 전압 및 전류 고조파 왜형의 정도는 낮지만, 고조파 성분이 포함되어 있어 역률이 낮다는 것을 알 수 있다. 그림 4b)는 선형부하에 역률 개선용 커패시터를 설치하고서 운전한 경우 전원전압, 전원전류, 커패시터 전류를 측정된 것으로서 역률은 매우 높아졌으며, 전원 전류의 파형도 고조파 성분이 매우 저감된 형태로 나타나는데, 이때 고조파 성분은 변압기 2차측에 설치된 역률 보상용 커패시터가 대부분 흡수하기 때문이다. 이 커패시터에 흐르는 전류는 4.91[A]로서 표 1에서 제시한 실효치 전류값의 132[%]로서 커패시터의 전류 허용치 안에는 들어가지 않지만 다른 조건에 비해 최대 값이 높게 된다는 것을 확인할 수 있었다.

다음 그림 5는 선형부하와 비선형 부하인 PWM 인버터와 사이리스터 정류기를 함께 운전한 경우의 측정결과를 나타낸 것이다.



사이리스터 정류기 단독운전



사이리스터 정류기와 선형 부하 운전시

그림 4. 사이리스터 정류기와 선형 부하 운전시

3가지 부하 중에서 전압 파형에 가장 큰 장애 요인으로 작용하는 것은 PWM 인버터 장치로 여겨지며, 역률은 당초 설정한 값과 일치되었으며, 고조파 전류를 흡수하는 역할을 하는 커패시터에 흐르는 4.3[A]로서 커패시터 정격전류의 115.6[%]로서 표 1에서 정하고 있는 허용 범위 이내에 들어감을 확인할 수 있다.

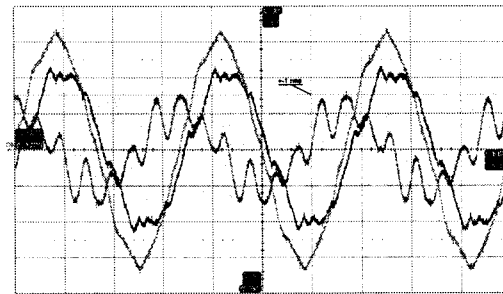


그림 5. 선형 및 비선형 부하의 혼합 운전시

4. 결 론

수용가에서 운전되는 설비는 전동 및 전열과 같은 선형부하의 인버터와 사이리스터 정류기 등과 같은 비선형 부하가 있다. 이들 비선형 부하는 고조파 전류의 발생으로 역률을 떨어뜨리는 동시에 전압 고조파의 발생으로 연결된 시스템에 나쁜 영향을 주고 있다. 이와 같은 고조파를 저감하는 동시에 역률을 보상하기 위해 부하측 PCC에 리액터와 함께 커패시터를 설치하여 고조파 저감과 역률을 동시에 가능하도록 하고 있다. 그러나 커패시터가 전기적인 스트레스로 제 수명을 다하지 못하는 경우가 많아 이에 대한 원인을 찾고자 실제 회로를 구성하여 측정하고 결과를 분석하였다.

본 연구에서는 선형 및 비선형 부하의 단독 운전시와 혼합 운전시 역률 개선용 커패시터에서의 전류의 크기를

측정하여 규정과 비교하였다. 선형부하의 단독 운전시에는 역률 보상과 고조파를 줄이도록 설계한 리액터 부착 커패시터에는 약간의 고조파 성분이 존재하지만, 매우 낮은 값을 나타내었다. 그러나 비선형 부하에 선형 부하를 함께 운전한 경우에서 비선형 부하의 종류에 따라 역률 보상 커패시터에 흐르는 전류값의 범위가 달라짐도 확인할 수 있었다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Thomas M. Blooming, "Capacitor Application Issues", IEEE Trans on IAS, Jul-Aug, pp.1013-1026, 2008
- [2] IEEE Std 18-2002, "IEEE Std for Shunt Power Capacitor"
- [3] IEC 60831, "Shunt power capacitors of the self-healing type for AC systems having a rated voltage up to and including 1000V"