

역률 보상 및 필터용 커패시터와 직렬 리액터의 특성 해석

*김종겸, *박영진, **이은용, **이동주, ***김일중
*강릉대, **충남대, ***호서대

Characteristics Analysis of Series Reactor for Power Factor Correction & Filter

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

Abstract - 본 연구에서는 선형 및 비선형 부하에 역률 보상 또는 고조파 성분을 줄이기 위해 설치하는 역률 보상 설비와 필터에 커패시터에 직렬로 연결되는 리액터에 대한 동작특성을 해석하였다.

1. 서 론

유도전동기와 같은 유도성 선형 부하에는 자화를 위해 무효전력이 필요하다. 이 무효전력을 전원측을 대신하여 부하측 단자에 커패시터를 설치하여 무효전력을 제공하여 역률을 보상하는 방식이 많이 적용되고 있다.

전력변환장치와 같은 비선형 부하는 전력변환과정에서 고조파를 발생한다. 발생된 고조파 전류는 기기의 손실 또는 연결된 시스템에 장애를 줄 수 있다. 이 고조파 전류는 임피던스가 낮은 전원측 또는 역률 보상 커패시터와 같은 설비에 흐르게 된다. 고조파 성분을 줄이기 위해서는 필터가 사용된다. 고조파 성분을 많이 줄일 수 있는 능동형필터는 가격이 높아 특정 고조파만을 줄이는데 수동형 필터가 경제적이다.

선형인 유도성 부하에는 낮은 역률을 보상하기 위해 커패시터만 설치하는 경우와 고압의 경우 커패시터에 직렬로 리액터를 설치하는 경우가 있고, 비선형 부하의 경우 고조파 전류를 줄이기 위해 변환장치 앞단에 가장 높은 차수의 고조파를 줄이기 위한 필터가 설치된다. 이 고조파 저감용 필터에는 커패시터와 리액터를 직렬로 연결 사용한다. 특히 고압 설비에는 커패시터와 함께 리액터에 대한 사고가 자주 보고되고 있어 이에 대한 원인 분석이 중요하다.

본 연구에서는 선형 및 비선형 부하를 함께 사용하는 저압 수용가에서 역률 보상 및 비선형 부하의 고조파 저감을 위해 설치하는 필터에서 커패시터 및 커패시터와 직렬로 연결 운전되고 있는 리액터에 대한 동작 특성을 해석하고자 한다.

2. 본 론

2.1 선형 및 비선형 부하

전압에 대해 같은 형태로 전류가 변화하는 경우를 선형부하라고 하며, 전력변환장치와 같이 전압에 대해 전류가 선형적인 변화를 가지지 않는 부하를 비선형부하라고 한다. 대부분의 선형부하 역률은 낮아 규정된 역률을 유지하기 위해서는 역률 보상을 커패시터를 설치해야 한다. 비선형부하의 경우 발생하는 고조파는 손실증가와 시스템 장애의 영향을 줄이기 위해 필터를 부착하여야 한다.

전력에너지를 효율적인 사용을 위해 비선형부하의 사용은 점차 증가할 것으로 생각된다. 비선형 부하로서는 사이리스터와 PWM 인버터 등이 주로 사용되고 있다.

2.2 역률 보상 및 고조파 필터

그림 1은 선형 및 비선형 부하가 함께 연결 운전되고 있는 수용가 단선결선도를 나타낸 것이다. 비선형부하로는 사이리스터와 다이오드 정류기를 이용하였다. 선형부하에는 역률보상을 위해 커패시터 단독 또는 직렬 리액터와 함께 사용하는 경우가 있고, 비선형 부하는 고조파를 줄이기 위해 특정 차수에 해당되는 필터를 1개 또는 여러 개 설치하는 경우가 있다. 그리고 각 부하에서 역률 보상이 미흡할 경우 변압기 2차 측 또는 1차 측에 역률 보상을 위한 별도의 커패시터를 설치하는 경우도 있다.

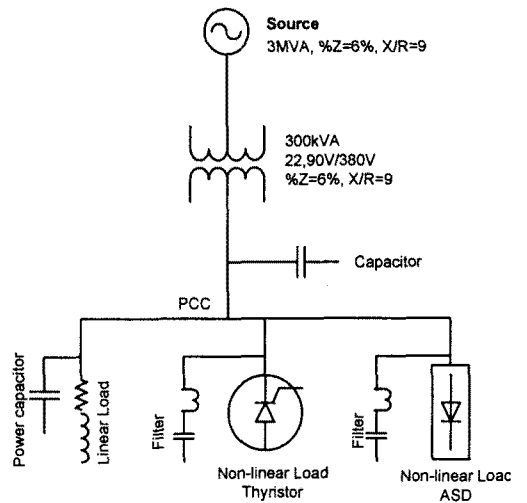


그림 1 단선결선도

그림 1에서 사용된 선형부하는 7#로서 역률 80%이고, 비선형 부하인 사이리스터는 UPS와 같은 설비에 사용하는 것과, 유도전동기를 속도제어하기 위한 가변속 드라이브(ASD)의 정류부는 다이오드를 주로 사용하는 PWM인버터를 사용하였다.

비선형 부하에서 발생하는 고조파 중에서 가장 많은 비중을 차지하고 있는 5고조파를 줄이기 위해 설치하는 필터의 경우 리액터는 커패시터 용량에 대해 다음과 같이 계산한다[1~3].

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

식 (1)에서는 4%이지만 시스템의 상호관계를 고려하여 설계로는 6%로 설계 적용하고 있다.

역률 보상에는 커패시터가 주로 이용되고, 고조파를 저감하기 위해서는 경제적인 관점에서 수동형 필터를 많이 적용하고 있다. 이들 커패시터에는 직렬로 리액터를 많이 적용하고 있다. 역률 보상을 위해 설치하는 리액터는 회로전압의 전압 왜형을 줄이고, 콘덴서 투입시 돌입 전류를 억제하는 역할을 하고 있다. 이 리액터는 커패시터의 6%에 해당되는 용량을 주로 사용하고 있다.

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. 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 전압으로 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 분석

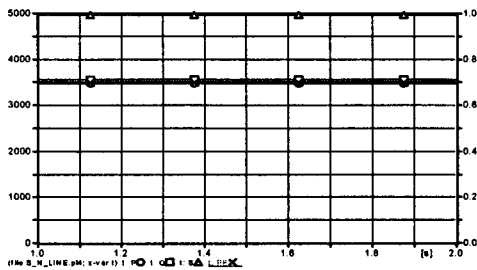
본 연구에서는 선형 및 비선형 부하가 함께 운전되는 경우 커패시터 및 리액터가 받는 전압 및 전류의 영향을 해석하였다. 해석에는 전자계과도해석 프로그램을 이용하였다.

선형 및 비선형 부하의 영향을 찾아내기 위해 우선 각각의 특성을 개별 운전한 경우와 혼합 운전한 경우에 대해 분석하였다.

3.1 선형부하만 운전

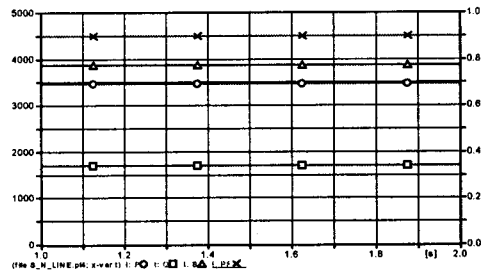
선형부하의 용량은 3.5[M]로서 역률은 0.7인 것을 0.9로 보상하는 경우 커패시터 및 리액터의 특성을 해석하였다. 역률을 보상하기 위해 커패시터와 리액터를 설치하였다. 보상후에는 역률이 0.9로 향상되었다.

역률을 보상하기 위해 필요한 무효전력은 1,876[var]이다. 이 커패시터의 6%에 해당되는 용량(112.56[var])의 리액터를 선정하였다.



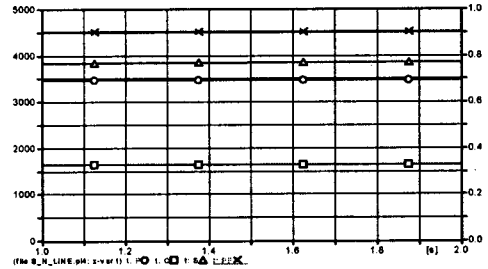
역률 보상 전

(P=3466.5, Q=3559.3, S=4968.4, pf=0.7)



역률 보상 후(커패시터만 부착)

(P=3477.3, Q=1696.8, S=3869.2, pf=0.89871)



역률 보상 후(커패시터 리액터 부착)

(P=3477.7, Q=1641.3, S=3845.5, pf=0.9)

그림 2. 보상 전 후의 전력 및 역률

그림 2는 역률 보상 커패시터 설치전과 설치 후의 전압 및 무효전력의 변화를 정격전압 전류에 대한 계산에 대해 커패시터만 설치한 것과 커패시터와 리액터를 직렬로 설치한 경우의 두 가지를 계산한 결과이다.

표 1은 선형부하에 커패시터만 설치한 경우와 커패시터에 리액터를 부착한 경우의 전압, 전류, 무효전력의 차이를 나타낸 것이다. 표 1에서 결과 1은 커패시터만 설치한 경우이고, 결과 2는 커패시터에 리액터를 부착한 경우이다.

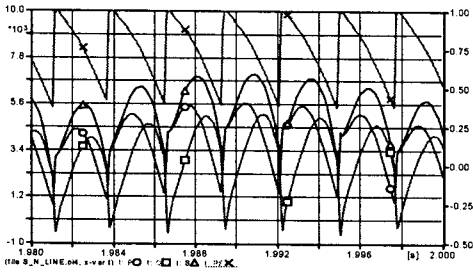
표 1 선형부하에 보상설비 부착 특성 변화

구분	Q_c [var]	Q_L [var]	V_L [V]	V_c [V]	I_L [A]	I_C [A]
정격	1875.7	112.56	13.2	220	2.842	2.842
결과1	1866.1	-	-	218.8	-	2.843
결과2	2112.6	127.5	14.05	232.8	3.025	3.025

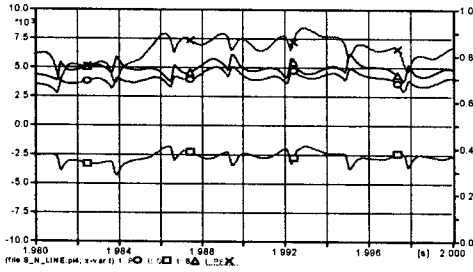
역률 보상을 리액터 및 커패시터의 전압 전류는 정격에 비해 모두 약간씩 상승함을 알 수 있다.

3.2 비선형부하만 운전

그림 3(a)는 사이리스터 정류기에 필터를 부착하지 않고서 운전한 경우 전력 및 역률을 나타낸 것이다. 비선형 부하의 영향으로 전력 및 역률이 매우 불안정함을 알 수 있다.



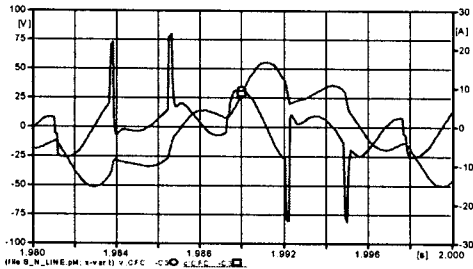
필터 부착 전



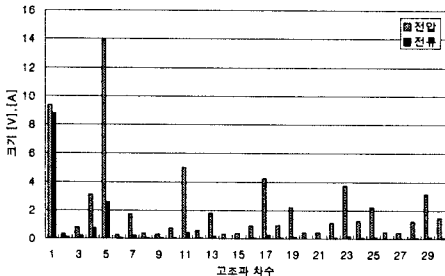
필터 부착 후

그림 3. 필터 부착 전후의 전력 및 역률

그림 3(a)는 필터를 사용하지 않은 그림 3(b)의 경우에 비해 전력 및 역률은 다소 안정적임을 확인할 수 있다. 그림 4는 비선형 부하의 고조파를 저감하기 위해 사용되는 필터에서의 리액터의 전압 및 전류의 크기 및 고조파 스펙트럼을 나타낸 것이다.



전압 및 전류



전압 및 전류 고조파 스펙트럼

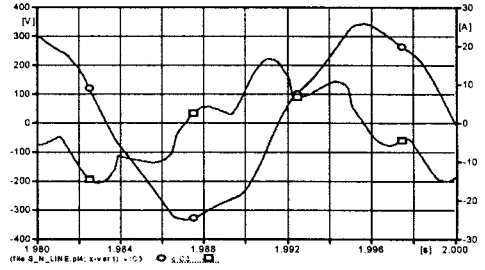
그림 4. 리액터 전압 전류 및 고조파 스펙트럼

그림 4(a)에서 전류보다는 전압이 더 왜곡된 형태를 가지고 있으며 반 주기당 높은 피크 전압이 나타나고 있다. 그림 4(b)는 그림 4(a)에 대한 전압 및 전류의 고조파 스펙트럼을 분석한 것이다. 전압 고조파 왜형율은

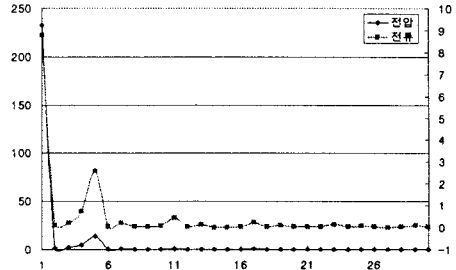
184%이고, 전류 고조파 왜형율은 31.6%로서 전압 왜형율이 전류 왜형율보다 상대적으로 높은 편이다. 특히 전압에서 5고조파 성분이 기본파보다 높게 나타나고 있다.

그림 5(a)는 필터용 커패시터의 전압 및 전류를 나타낸 것이다. 전압은 리액터에 비해 고조파 성분이 적은 정현파에 가깝고, 전류는 리액터와 같이 때문에 같은 형태를 나타내고 있다.

그림 5(b)는 그림 5(a)의 전압 및 전류에 대한 고조파 스펙트럼을 나타낸 것이다. 전압 고조파 왜형율은 6.39%이고, 전류 고조파 왜형율은 31.6%이다.



전압 및 전류



전압 및 전류 고조파 스펙트럼

그림 5. 커패시터 전압 전류 및 고조파 스펙트럼

표 2는 사이리스터 컨버터에 수동형 필터를 설치한 경우 정격과 실제 전압, 전류 그리고 전력의 변화를 나타낸 것이다. 정격에 비해 실제로 전압 및 전류가 모두 증가하는 것을 확인할 수 있다.

표 2 비선형부하에 보상설비 부착 특성 변화

구분	Q_c [var]	Q_L [var]	v_L [V]	v_C [V]	I_L [A]	I_C [A]
정격	5458	327.5	13.2	220	8.27	8.27
결과	6435	540.1	19.59	233.3	9.19	9.19

4. 결 론

본 연구에서는 선형 및 비선형 부하에 역률 보상 및 고조파를 저감하기 위한 필터 설치시 리액터 및 커패시터의 전압 및 전류 특성이 당초 정격보다 높게 나타난다는 것을 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] KSC 4801, "저압 진상콘덴서", 2003
- [2] JIS C-4901, "저압 진상 콘덴서", 2000
- [3] IEC 60871, "Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c systems having a rated voltage up to and including 1000V"