

전력용 커패시터의 전기적 스트레스 해석

論 文

57P-4-4

Analysis for Electrical Stress of Power Capacitor

金 宗 謙[†] · 朴 永 鎮^{*} · 李 殷 雄^{**} · 李 東 周^{***}
(Jong-Gyeum Kim · Young-Jeen Park · Eun-Woong Lee · Dong-Ju Lee)

Abstract - Power capacitors are widely used for power factor correction and component of passive filter in the user power systems. Recently, application of non-linear load is gradually increased. Non-linear load produces harmonic components of current. There are series resonance and parallel resonance when capacitors are applied in the user electrical application. If this harmonic component matches resonance, voltage and current is magnified and has severely an influences on capacitor.

This paper purposes a new method for the magnitude of voltage and current by the frequency scan analysis without equivalent circuit for the actual circuit at the resonance condition.

Key Words : Non-Linear Load, Power Capacitor, Stress, Frequency Scan, Harmonics, Resonance

1. 서 론

전기부하로는 저항성, 유도성 및 용량성이 있지만, 단독으로 사용되는 경우는 적고 대부분이 합성된 형태로 사용하며, 저항부하와 유도성 부하의 혼합사용이 많은 편이다. 유도성 부하가 존재할 경우 전압에 대한 전류의 위상이 늦어 역률이 낮다.

전동기와 같은 유도성 부하가 동작하는데 출력성분으로 전달되는 유효전력 성분 외 자속을 지속시키는데 필요한 무효성분의 전력도 필요하다. 유효전력은 실제 일을 하는 전력이지만 무효전력은 일을 하지는 않지만 필요한 성분이다. 부하의 동작에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 공급하기 위해 커패시터를 사용한 역률 보상장치가 이용되고 있다[1,2,3].

수용가에 사용되는 부하에는 전압에 대해 전류가 같은 형태로 바뀌는 선형 부하 외에 컨버터와 같은 전력변환장치의 비선형 부하가 함께 사용되고 있다. 대부분의 선형 부하는 역률이 낮기 때문에 부하측 단자에 개별적으로 커패시터를 설치하여 역률을 보상하거나 부하를 일괄적으로 묶어서 역률을 제어하기도 한다. 비선형 부하에서는 전력변환과정에서 발생하는 고조파가 연결된 다른 부하에 나쁜 영향을 주

기 때문에 커패시터가 포함된 필터를 부착하여 고조파 성분을 저감시키고 있다[4,5]. 많은 현장에서는 리액터와 커패시터로 구성된 수동형 필터를 사용하고 있다. 고조파를 저감하기 위해 설치한 수동형 필터가 시스템에서 공진을 일으킬 경우 전압 및 전류가 확대되어 커패시터에 전기적인 스트레스로 작용하여 수명이 저하될 수 있다.

커패시터의 전압 및 전류 스트레스 해석은 시스템 전체에 대한 것보다는 부분적인 해석이 주로 이루어졌다. 그러나 커패시터는 전압 및 전류에 모드 스트레스를 받기 때문에 시스템 전체에 대해 두 가지 해석이 동시에 진행되어야 한다.

본 연구에서는 커패시터가 선형 및 비선형부하에 각각 역률 보상 및 고조파 저감을 위해 사용할 때 공진 등에 의해 받는 전압 및 전류 스트레스를 등가회로를 구성하지 않고서 바로 구성된 회로에서 임피던스 변화에 의한 전압 및 전류의 크기를 주파수 스캔 특성으로 분석할 수 있다는 것을 입증하였다.

2. 커패시터와 공진

2.1 커패시터

수용가에 사용되는 부하에서 전압에 대해 같은 형태로 전류가 변화하는 경우를 선형부하라고 하며, 전력변환장치와 같이 전압에 대해 전류가 선형적인 변화를 가지지 않는 부하를 비선형부하라고 한다[4,5]. 대부분의 선형 및 비선형 부하의 역률은 낮아 일정 역률을 유지하기 위해서는 역률 보상용 커패시터를 설치하고 있다.

커패시터는 부하에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 제공함으로서 역률을 보상하는 역할 외 리액터와 직렬로 연결하여 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파 전류를 흡수하

[†] 교신저자, 正會員 : 江陵大學校 電氣情報通信工學部 教授 · 工博
E-mail: jgkim@kangnung.ac.kr

* 正 會 員 : 江陵大學校 電氣情報通信工學部 教授 · 工博

** 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 忠南大學校 電氣工學科 博士課程修了

接受日字 : 2008年 8月 6日

最終完了 : 2008年 9月 11日

는 필터로서도 사용되고 있다.

부하에 커패시터의 설치시 공진이 문제가 될 수 있다. 커패시터의 리액턴스는 주파수 증가에 따라 감소하는 특성을 가지고 있으므로 고조파가 존재할 경우 흡수하는 역할을하게 되어 과열 및 전기적인 스트레스를 주게 된다[1,6,7,8].

역률 보상장치의 사용전후 유효전력(P), 무효전력(Q), 피상전력(S) 및 역률(pf)의 변화는 식 (1)과 같이 전압 및 전류로 간단하게 구할 수 있다.

$$P = V_a I_a + V_b I_b + V_c I_c \quad (1)$$

$$Q = \frac{\{(V_c - V_b)I_a + (V_a - V_c)I_b + (V_b - V_a)I_c\}}{\sqrt{3}}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$pf = \frac{P}{S}$$

그림 1은 수용가의 전원 및 부하의 단선도를 나타낸 것이다. 부하에는 선형부하와 비선형 부하가 함께 사용되고 있다.

유도전동기와 같은 선형부하에서는 단자에 역률 보상 커패시터가 설치되고, 비선형 부하의 경우 고조파를 줄이기 위해 컨버터부에 필터를 설치하고 있다.

비선형 부하에서 발생하는 고조파 전류의 크기를 줄이기 위해 컨버터 앞단에는 리액터 성분이 추가되기도 한다. 이들 리액터와 커패시터의 존재는 공진발생의 조건이 된다.

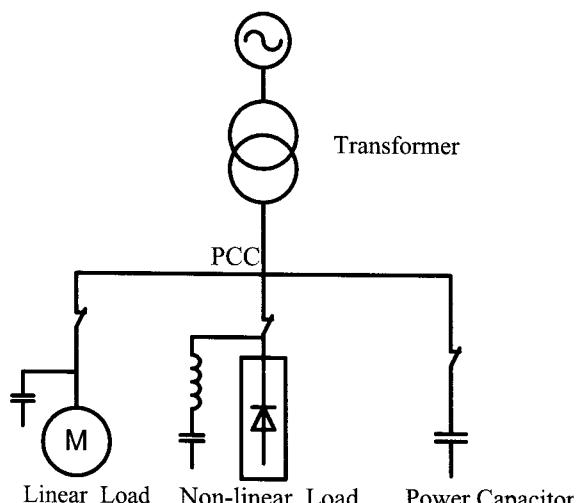


그림 1 해석용 단선 결선도

Fig. 1 Single line diagram for analysis

표 1 변압기 파라미터

Table 1 Transformer parameter

Section	Value
Capacity	30kVA
Voltage	220/380
Connection	Y-Y
%Impedance	5.8%

해석에 사용된 시스템은 저압을 기준으로 하였으며, 전원용 변압기에 대한 사양은 표 1과 같다.

그럼 1에 적용된 유도전동기의 파라미터는 표 2와 같다.

표 2 전동기의 파라미터

Table 2 Motor parameter

Section	Value
Capacity	2.2kW
RPM	1746
Full load speed	1730rpm
Voltage	380V
Full load current	4.9A
Starting current	46.6A
Full load efficiency	87.5%
Power factor	79.0%

380[V] 2.2[kW] 전동기의 경우 역률 보상을 위한 커패시터는 0.817[kVA]의 용량을 권고하고 있다. 같은 정격의 전동기라도 기존의 경우 효율은 82.5[%]이지만 지금은 에너지효율을 높이기 위해 87.5[%]인 전동기가 대부분 공급되고 있다[7,9]. 비선형 부하는 2.2kW 유도전동기를 속도 제어할 수 있는 인버터를 적용하였다. 가변속 구동장치(ASD)의 컨버터에서 발생하는 5차 고조파를 줄이기 위한 수동형 필터에서 리액터와 커패시터는 각각 3.75[mH]와 75[μF]를 적용하였다 [5].

2.2 공진

역률 보상설비와 관련하여 소홀하기 쉬운 문제 중의 하나가 공진이다. 커패시터는 고조파를 발생하지 않지만, 시스템에 역률 개선 또는 필터로서 설치할 경우 시스템의 주파수 응답특성을 변화시킨다. 이 때 시스템에서 발생하는 공진은 유도성 인덕턴스와 용량성 커패시턴스에 의해 특정 주파수에서 임피던스가 최소 또는 최대로 되는 현상이다. 직렬공진이 발생할 경우 임피던스가 최소가 되고, 병렬공진이 발생되는 경우에는 임피던스가 최대가 된다. 직렬공진에서는 전류가 최대가 될 수 있으며, 병렬공진에서는 전압의 최대로 될 수 있어 기기에 전기적인 스트레스로 작용하게 된다. 역률 보상 시스템에서 공진의 영향은 커패시터의 수명을 매우 단축 단축시키거나 고장이 날 수 있다. 따라서 공진점을 피하기 위해서 필터를 설계할 경우 공진점 이하로 설계하고 있다[5].

해석하고자 하는 시스템에서 주파수에 따라 임피던스의 변화를 해석하는 것은 고조파와 같은 설비에 의해 공진으로 스트레스를 줄이는데 매우 효과적이다. 그래서 시스템에서 고조파 존재시 등가회로를 구성하지 않고서 3상 시스템을 그대로 주파수 스캔을 통해 임피던스의 변화를 간단하게 해석할 수 있다.

PCC(Point of Common Coupling)에서 고조파 공진차수를 구하는 방법에는 해석대상의 파라미터로부터 구하는 것과 단락용량과 커패시터 용량으로 구할 수 있다. 먼저 변압기 인덕턴스를 구하고서 커패시터의 값에서 공진주파수를

구하면 된다.

$$\text{변압기 2차 전류 } I_2 = \frac{30 \times 1000}{\sqrt{3} \times 380} = 45.58[A]$$

변압기 누설 리액턴스

$$X_L = \frac{\%Z \times V}{I_2} = \frac{0.058 \times 380}{45.58} = 0.4535[\Omega]$$

$$\text{변압기 인덕턴스 } L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{0.4535}{377} = 1.2826[mH]$$

$$\text{커패시터 전류 } I_C = \frac{Q}{\sqrt{3} V} = \frac{0.817}{\sqrt{3} \times 0.38} = 1.241[A]$$

$$\text{커패시터 리액턴스 } X_C = \frac{V}{I_C} = \frac{380}{1.241} = 306.2[\Omega]$$

$$\text{커패시터 커패시턴스 } C = \frac{1}{(\omega X_C)} = \frac{1}{(377 \times 306.2)} = 8.66[\mu F]$$

따라서 공진주파수는 다음과 같다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1.2826 \times 8.66 \times 10^{-9}}} = 1510.1[Hz]$$

이를 차수로 환산하면 약 25차가 된다.

고조파가 발생하는 공진 주파수 차수 h_r 는 다음과 같이 구할 수 있다[10,11].

$$h_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{sc}C}} = \sqrt{\frac{X_c}{X_{sc}}} = \sqrt{\frac{kVA_{sc}}{kVA_r}} = \sqrt{\frac{(100 \times kVA_{tx})}{(\%Z_{tx} \times kVA_r)}} \\ = \sqrt{\frac{(100 \times 30)}{(5.8 \times 0.817)}} = 25.1$$

두 가지 계산 결과는 일치한다.

여기서 L_{sc} 는 단락 인덕턴스

C 는 커패시턴스

kVA_{sc} 는 단락용량

kVA_r 는 커패시터 뱅크 정격

$\%Z_{tx}$ 변압기 %임피던스

고조파가 문제가 되는 저압 설비에서 비선형 부하와 전원 용 변압기의 용량에 대한 내용은 다음과 같은 경우 3가지 사항에 포함되는지를 검토하고 있다. 이 가이드라인은 5~6% 임피던스를 가진 변압기에 사용되고, 변압기에 이은 시스템 임피던스가 변압기 기준에서 1%보다 적을 경우에 적용할 수 있다[12].

① 고조파를 발생하는 부하의 kVA 가 변압기 kVA 정격의 10% 미만일 경우 커패시터는 공진에 대한 걱정 없이 적용할 수 있다.

② 고조파를 발생하는 부하의 kVA 가 변압기 kVA 정격의 30% 미만이고, 커패시터 $kvar$ 가 변압기 kVA 정격의 20% 이하이면, 커패시터는 공진에 대한 걱정 없이 적용할 수 있다.

③ 만일 고조파를 발생하는 부하의 kVA 가 변압기 kVA 정격의 30% 이상일 경우 커패시터는 필터로서 적용될 수 있다.

위의 조건에 따를 경우 그림 1에서 사용된 변압기에 대해 고조파를 발생하는 비선형 부하의 용량이 7.3%이고, 역률 보상 커패시터도 2.7%로서 매우 낮아 공진에 대한 걱정 없

이 사용할 수 있다고 할 수 있다. 그러나 실제 수용가 설비는 위의 기준을 따르더라고 고조파 및 공진 조건에 의해 고장이 일어날 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과 분석

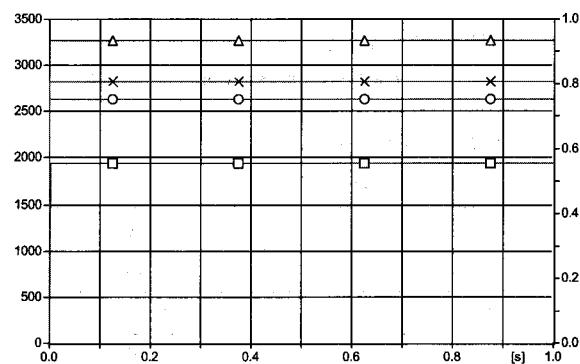
전력설비에서 커패시터가 하는 가장 큰 일은 부하에 필요한 무효전력을 전원측을 대신하여 제공하여 전원측의 역률을 보상하는 기능 외 비선형 부하에 의해 발생하는 고조파를 흡수하여 다른 기기에 미치는 영향을 줄이는 것이다. 이와 같은 기능에 대해 시스템에 포함된 인덕턴스 성분과 커패시턴스 성분이 공진을 일으킬 경우 전압 및 전류가 확대되어 수명을 줄일 수 있는 스트레스로 작용한다. 그래서 본 해석에서는 선형 및 비선형 부하에서 커패시터를 설치할 경우 역률 보상의 정도와 공진시에 발생하는 전압 및 전류의 크기를 주파수 스캔을 통해 분석하였다. 본 시스템에는 주파수 스캔은 전자계과도해석 프로그램을 이용하였다[13].

3.1 역률 보상

3.1.1 선형 부하

선형부하로는 저항 및 인덕턴스 성분으로 포함된 경우와 전동기와 같이 인덕턴스 성분이 지배적인 유도성 부하가 사용되고 있다. 본 연구에서는 유도성 부하인 유도 전동기에 대해 낮은 역률을 보상하기 위해 부하측 단자에 커패시터를 설치한 경우에 대한 전력 및 역률 특성을 해석하였다.

선형 부하만의 운전시 역률 보상 커패시터의 부착전후에 대한 전력 및 역률은 그림 2와 같다. 그림 2에서 좌측은 전력(유효:○, 무효:□, 피상:△)이고, 우측은 역률(×)을 나타낸 것이다. 보상 전의 전원측에서의 역률은 80.57%이지만 보상 후에는 91.88%까지 가능하다. 그러나 95%의 보상을 위해서는 추가 보상이 필요함을 알 수 있다. 그림 2(c)는 권고하고 있는 커패시터 보다 약간 높은 등급인 20[μF]를 설치한 후의 전력 및 역률을 나타낸 것으로 역률은 95%까지 높아졌다. 그림 2(a)에서와 같이 역률 보상 전에 유효, 무효, 피상전력이 일정한 간격을 유지하고 있지만, 그림 2(b) 및 (c)에서와 같이 부하측에 역률 보상용 커패시터를 설치할 경우 전원측에서 제공하는 무효전력은 점차 낮아지고, 유효 및 피상전력이 매우 가깝게 되어 상대적으로 역률이 높아짐을 확인할 수 있다.



(a) 커패시터 설치 전

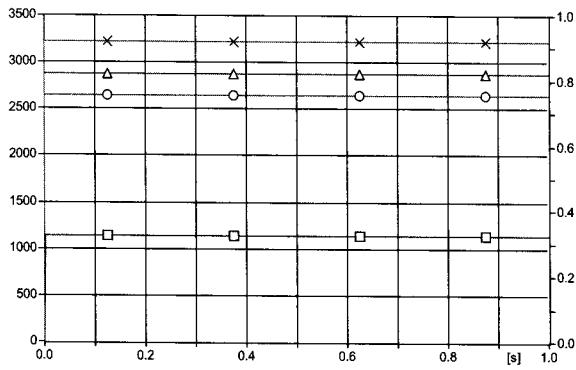
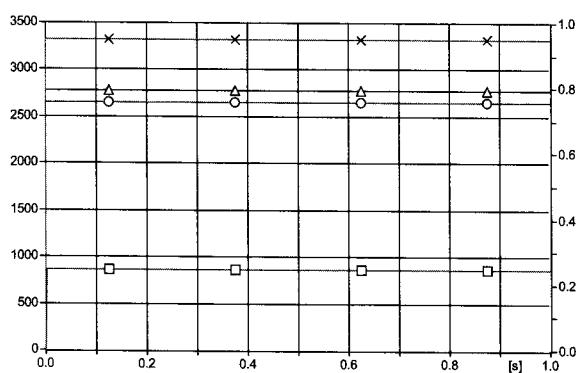
(b) 15[μ F] 커패시터 설치 후(c) 20[μ F] 커패시터 설치 후

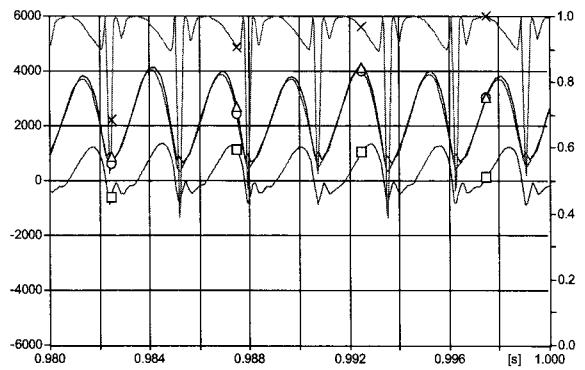
그림 2 선형 부하 운전시 전력 및 역률

Fig. 2 Power and Power factor at Linear Load

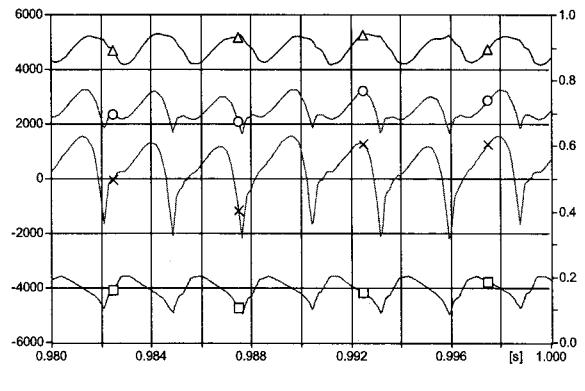
그림 2(b)에서와 같이 부하측 단자에 15[μ F]의 커패시터를 설치하여 유도 전동기의 낮은 역률을 보상하는데 효과는 있지만, 일반적으로 권고하고 있는 역률 보상용 커패시터의 용량으로는 95[%]까지 요구하고 있는 역률에 도달하기에는 부족하다. 그래서 그림 2(c)와 같이 권고하는 용량보다 약간 높은 커패시터를 설치할 경우 원하는 역률을 유지할 수 있다. 그러나 권고하는 용량 이상의 커패시터를 설치할 경우 자기여자 현상으로 전동기 퀸션을 손상시킬 수 있으므로 [2,8] PCC에 여러 대의 커패시터를 설치하여 부하 조건에 따라 자동적으로 커패시터를 온/오프 시켜 역률을 보상하고 있다.

3.1.2 비선형 부하

그림 3은 그림 1과 같은 회로에서 2.2[kW]의 비선형 부하만을 사용하여 필터의 부착 전후 전력 및 역률을 나타낸 것이다. 그림 3(a)에서와 같이 필터 부착 전에는 유효전력(O) 및 피상전력(Δ)이 거의 같고, 무효전력(\square)은 제로를 기준으로 전원측과 부하측을 이동하는 성분으로 나타나며, 역률(\times)도 피상 및 유효전력의 위상차로 아주 큰 퍼크성분을 나타내지만 높은 편이다. 그러나 그림 3(b)에서와 같이 필터의 부착 후에는 유효성분 전력은 줄어들고 무효성분 전력이 증가함에 따라 피상전력을 줄고, 역률도 함께 떨어짐을 확인할 수 있다. 결과적으로 비선형 부하의 단독 운전시 필터의 추가는 고조파 성분을 줄일 수 있지만 필터에서 필요한 전력



(a) 필터 부착 전



(b) 필터 부착 후

그림 3 비선형 부하 운전시 전력 및 역률

Fig. 3 Power and Power factor at Non-linear Load

성분으로 인해 역률은 오히려 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

3.1.3 선형 및 비선형 부하

수용가에서 사용하는 부하는 그림 1에서와 같이 선형 및 비선형 부하를 함께 사용하는 경우가 많다. 따라서 같이 사용할 경우 전력 및 역률의 변화를 해석한 것이 그림 4에 나타내었다. 비선형 부하의 부족분을 선형부하가 보상하기 때문에 역률은 낮아지고, 전력에는 고조파 성분이 존재함을 확인할 수 있다.

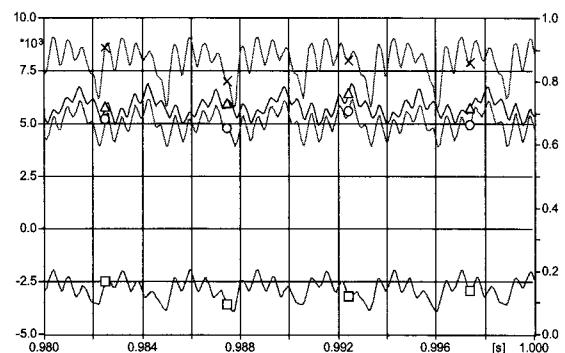


그림 4 선형 및 비선형 부하 운전시 전력 및 역률

Fig. 4 Power and Power factor at Linear and Non-linear Load

3.2 주파수 스캔

유도성 부하에 커패시터의 추가는 공진현상을 일으킨다. 공진시에는 전압 및 전류의 확대로 자체 및 연결된 시스템에 전기적인 스트레스를 가하기 때문에 저감 및 안정적인 운전을 위해서는 발생점에 대한 정확한 해석이 필요하다. 실제 시스템에 연결된 부하에 대하여 공진점에서 전압 및 전류의 크기를 찾을 경우 해당기기의 설계 및 운전에 도움이 될 수 있다.

3.2.1 선형부하

비선형 부하에서는 고조파 전류원에 의한 영향을 주로 받지만, 선형부하에서는 전류원에 대한 것보다는 전압원이 지배적이다.

그림 5는 그림 1과 같은 회로에서 유도전동기에 역률 보상을 위해 $15[\mu F]$ 의 커패시터만 부착한 경우에 대한 커패시터에서의 주파수 스캔특성을 나타낸 것이다. 그림 5에서 좌측은 전압이고, 우측은 전류이며, x축은 주파수를 나타낸 것이다. 그림 5에서 주파수 $1,520[Hz]$ 에서 역률 보상 커패시터와 전동기의 인덕턴스에 의해 병렬공진이 발생함을 확인할 수 있다. 이 병렬 공진 주파수는 구한 값은 2.2절에서 구한 계산 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

기본 주파수 운전에서 전압 및 전류의 크기에 대해 병렬 공진시에는 26배의 전압과 667배의 전류가 나타나게 된다. 따라서 병렬 공진시 전압 및 전류가 매우 확대됨을 확인할 수 있다. 따라서 이 부근에서 지속적으로 운전될 경우 커패시터는 스트레스를 받아 수명이 단축될 수 있다.

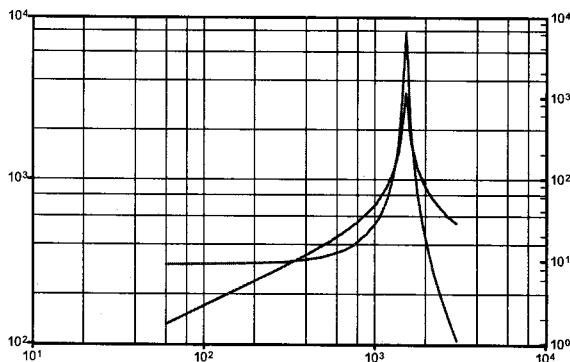


그림 5 선형 부하의 주파수 스캔

Fig. 5 Frequency scan at Linear load

3.2.2 비선형 부하 운전

정류기, 가변속 드라이브와 같은 비선형 부하의 사용이 증가하고 있다. 비선형 부하의 사용은 전력변환과정에서 발생하는 고조파 전류가 자체는 물론 연결된 시스템에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 이 고조파 성분을 줄이기 위해 주로 컨버터부에 수동형 필터를 설치하고 있다. 필터는 고조파를 줄이기 위해 기본파를 제외한 차수 중에서 가장 높은 차수를 대상으로 파라미터를 결정한다.

그림 6은 그림 1과 같은 회로에서 비선형 부하에 필터만 부착하고서 운전한 경우 전압 및 전류에 대한 주파수 스캔

을 나타낸 것이다. 5차 고조파를 줄이기 위해 설치한 필터부에서 확인한 전압 성분은 $238[Hz]$ 에서 병렬 공진이 발생하고, $300[Hz]$ 에서는 직렬 공진이 발생한다. 전류에 대해서는 5차에서 병렬공진은 발생하지 않고 전압에서와 같은 주파수에서 병렬공진이 발생하고 있다. 따라서 5차 고조파를 줄이기 위해 설치한 커패시터는 $237[Hz]$ 근처에서 9배의 높은 전압 및 92배의 전류 스트레스를 받게 됨을 확인할 수 있다. 커패시터가 안전하게 오래 사용되기 위해서는 이 주파수 영역을 피해야 한다.

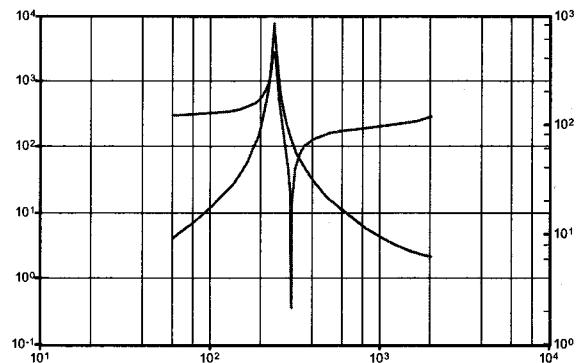


그림 6 비선형 부하의 주파수 스캔

Fig. 6 Frequency scan at Non-linear load

3.2.3 선형 및 비선형 부하의 혼합 운전

수용가에서 사용하는 설비는 대부분의 경우 선형 및 비선형 부하가 함께 사용하고 있다. 따라서 선형 및 비선형 부하를 함께 사용할 때 역률 보상 커패시터와 비선형 부하에 부착되는 필터의 커패시터가 전압 및 전류에 의한 스트레스의 정도를 확인할 필요가 있다.

그림 7 및 8은 선형부하에는 역률 보상 커패시터를 그리고 비선형 부하에 수동형 필터를 설치하고서 운전할 경우에 대한 전압 및 전류의 크기를 주파수 스캔으로 분석한 것이다.

그림 7은 그림 1과 같은 회로에서 역률 보상 커패시터부에서의 주파수 스캔에서의 전압 및 전류 특성을 나타낸 것으로서 좌측은 전압, 우측은 전류값 그리고 x축은 주파수를 나타내고 있다. 전압 및 전류는 $246[Hz]$ 와 $1,568[Hz]$ 두 부분에서 병렬공진이 발생하되 $1,568[Hz]$ 에서의 병렬공진에 의한 전압값이 높게 나타남을 알 수 있다. 전류에 대한 주파수스캔에서도 높은 차수의 주파수에서 전류가 높게 나타남을 알 수 있다. 선형 부하만 운전한 그림 5와 비교하면 $246[Hz]$ 에서 병렬공진이 발생하고, 비선형 부하에서 고조파를 줄이기 위해 설치한 필터로 인해 $300[Hz]$ 에서는 전압 및 전류의 크기는 작지만 직렬공진의 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 즉, 첫 번째 병렬공진이 일어나는 $246[Hz]$ 에서 전압은 기본파 주파수에 비해 3.35배가 되고, 전류는 13.75배가 된다. 두 번째 병렬공진이 발생하는 주파수에서 전압은 기본파에 비해 13.65배가 되고, 전류는 357배가 된다. 이와 같은 높은 전압 및 전류의 크기를 줄이기 않을 경우 커패시터 및 리액터의 경우 스트레스를 받아 절연파괴로 소손이 일어나게 된다.

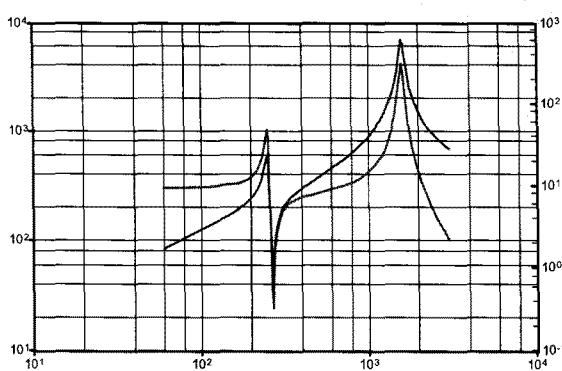


그림 7 역률 보상 커패시터에서의 주파수 스캔

Fig. 7 Frequency scan at Power-Factor

그림 8은 비선형 부하의 필터부에서 전압 및 전류에 대한 주파수 스캔을 나타낸 것이다. 그림 7에서와 같은 주파수에서 직렬 및 병렬 공진이 발생함을 알 수 있다. 단지 비선형 부하의 영향으로 낮은 차수의 주파수에서 전압 및 전류의 크기가 높게 나타난다. 그러나 1,568[Hz]에서 전류는 낮은 차수 주파수에 비해 낮은 값을 나타내고 있다. 병렬공진에 의한 전압 및 전류의 확대는 선형부하의 공진현상 때문이다.

첫 번째 병렬공진이 발생하는 주파수에서 기본파 전압에 대해 약 9배가 되고, 전류는 90배 된다. 두 번째 병렬공진에서의 전압배수는 12배가 되고, 전류는 11.67배가 된다. 이와 같은 높은 전압 및 전류는 부하기기 및 연결된 필터나 역률보상용 커패시터에 큰 스트레스를 주게 된다.

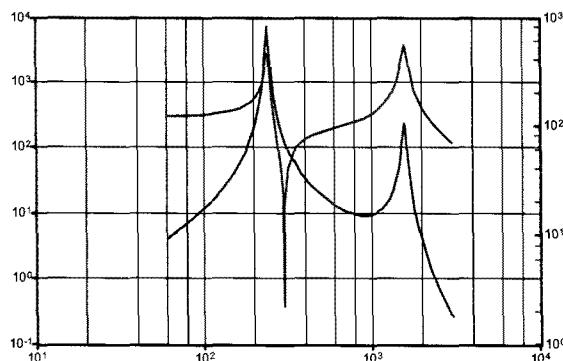


그림 8 필터부에서의 주파수 스캔

Fig. 8 Frequency scan at Filter

그림 7 및 8에서 알 수 있듯이 선형 및 비선형 부하에서 인덕턴스와 커패시턴스에 의해 발생된 공진은 자체는 물론 다른 시스템에도 그 영향을 미칠 수 있기 때문에 역률보상이나 필터의 설계시 시스템에 대해 공진특성을 정확하게 파악해야 함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 유도성 부하에 역률을 보상하는 기능과 비선형

부하의 사용시 발생하는 고조파 전류를 줄이기 위해 리액터와 함께 설치한 커패시터가 직병렬 공진시에 받는 전압 및 전류의 크기를 주파수 스캔을 통해 분석하였다.

본 연구에서는 공진시에 받는 전기적인 스트레스 정도를 찾기 위해 실제 시스템의 구성도를 등가회로로 변환하지 않고 바로 필요한 부분한 대해 전압 및 전류의 크기를 해석할 수 있었다.

해석결과 선형 및 비선형 부하의 개별 운전시 특정 차수에서 직렬 또는 병렬 공진현상이 단독으로 발생하지만, 혼합운전할 경우 상호 영향으로 공진주파수가 여러 곳에서 나타났다. 이들 공진 주파수에서 전압 및 전류의 크기는 커패시터의 고장을 일으킬 정도로 매우 높아 전기적인 스트레스의 한 요인으로 작용할 수 있다는 것을 확인하였다.

향후 본 연구를 결과로 기준 운영시스템에 대한 상태 분석과 새로 설계 적용하는 시스템에 대한 신뢰도 분석에 적용할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 전력산업 연구개발 사업으로 수행한 것의 일부입니다.(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] 김종겸, "일반 및 고효율 유도전동기 특성 비교 해석", 대한전기학회 논문지, 제 56(P)권, No.4, pp.186-190, 2007. 12
- [3] Ramasamy Natarajan, "Power System Capacitor", Taylor & Francis, 2005
- [4] 김종겸, 손홍관, 이은웅, "선형 및 비선형 부하량에 따른 고조파 성분의 변화" 대한전기학회 논문지(B) 제 51권 8호, No. 4, pp.441-448, 2002. 8
- [5] 김종겸, 이은웅, 이동주, "불평형 전압으로 운전되는 비선형 부하의 고조파 특성 분석", 대한전기학회 논문지, 제 52(B)권, No.10, pp.491-500, 2003. 10
- [6] IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, 1993
- [7] IEEE Std 18-2002, "IEEE Std For Shunt Power Capacitors"
- [8] IEEE Std 1036-1992, "IEEE Guide for Application of Shunt Power Capacitors"
- [9] 김일중, 김종겸, "불평형 전압 운전시 역률 보상용 커패시터의 특성 연구", 대한전기학회 논문지, 제 57(P)권, No.1, pp.36-40, 2008. 03
- [10] Ronald H. Simpson, "Misapplication of Power Capacitors in Distribution Systems With Nonlinear Loads-Three Case Histories", IEEE Trans on IAS, Vol. 41, No. 1, pp. 134-143, 2005. Jan/Feb
- [11] C. Boonseng et al., "Failure Analysis of Dielectric

- of Low Voltage Power Capacitors Due to Related Harmonic Resonance Effects", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Volume 3, 28 Jan.~1. Feb. pp.1003-1008, 2001
- [12] V. E. Wagner et al., "Effects of Harmonics on Equipment", IEEE Trans on PD, Vol. 8, No.2, pp.672-680, 1993. April
- [13] H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.



이 동 주 (李 東 周)

1973년 7월 31일생. 1996년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1998년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사), 박사수료 1999년~현재 이화전기 기술연구소 재직중

Tel: 031-760-1232

E-mail: david.lee@eti21.com

저 자 소 개



김 종 겸 (金 宗 謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1996년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 강릉대학교 전기정보통신공학부 교수. 현재 당학회 B부문 재무이사

Tel : 033-760-8785

E-mail : jgkim@kangnung.ac.kr



박 영 진 (朴 永 鎭)

1959년 11월 19일생. 1982년 단국대학교 전기공학과 졸업. 1996년 단국대학교 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1996년~현재 강릉대학교 전기정보통신공학부 교수. Tel : 033-760-8784

E-mail : popspark@kangnung.ac.kr



이 은 웅 (李 殷 雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동대학원 전기공학과 졸업(공박). 1982년~83년, 1984년~85년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당학회 평위원. 1995년 당학회 편집위원장 및 전기기연구회 간사장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장, 산업대학원장('96~'97), 1997년~2000년 당학회 부회장. 2004년도 당학회 회장, 현재 충남대 전기공학과 교수

Tel : 042-821-5652

E-mail : ewlee@cnu.ac.kr