

비선형 부하의 순시 전력 보상

김종경*, 박영진*, 이은웅**, 정종호**, 김일중***
 강릉대학*, 충남대학**, 호서대학***

Instantaneous Power Compensation of Non-linear Load

Kim Jong-Gyeum*, Park Young-Jeen*, Eee Eun-Woong**, Jeong Jong-Ho**, Kim Il-Jung***
 Kangnung Univ*, Chunnam Univ**, Hoseo Univ***

Abstract - The application increase of power conversion equipment in the industrial site has led to a growing concern for harmonic distortion and the resulting impacts on system equipment and operation. Harmonic current is generated by the operation of non-linear load, it means that voltage and current waveforms exhibit a non-linear relationship. Harmonics cause increase losses in the customer and utility power system components. This paper describes application of instantaneous active and reactive theory for the compensation of harmonic currents in three-phase non-linear load.

1. 서 론

수용가에서 사용되는 있는 설비의 종류가 다양화 복잡화 되어 감에 따라 안정적이고 깨끗한 전기품질(Power Quality) 유지는 기기의 신뢰성 회복을 위해 매우 중요하다. 전기품질에서 가장 큰 몫을 차지하는 부분이 전압품질(Voltage Quality)이다. 일반적으로 전압품질 보다 부하측에 사용하는 기기의 영향으로 깨끗한 전압품질 유지가 매우 어렵다. 부하측에서 전기품질에 가장 큰 영향을 발생하는 요소가 바로 비선형부하이다. 비선형 부하(Non-linear load)는 정현적인 전압인가 파형 대해 왜형된 형태의 전류가 임피던스가 낮은 쪽으로 흐르는 것을 말하는 것으로서 주로 전압측 또는 용량성 부하에 영향을 주게 된다.

대부분의 일반 수용가는 전자제품의 증가와 에너지 효율기기의 도입으로 인해 선형부하(Linear load)보다는 비선형 부하를 많이 사용하고 있다. 비선형부하는 전력변환과정에서 고조파를 발생하여 기기의 손실을 증가시키고, 민감한 기기에는 오동작을 일으키며, 민감한 부하에는 시스템의 오동작이나 정확성을 떨어뜨리고 있다[1].

비선형 부하는 고조파성분을 포함하고 있는데 고조파 성분에서도 단상의 경우 3고조파가 가장 문제가 되고, 3상부하의 경우 6n±1의 차수의 고조파가 문제를 발생하고 있다. 3상 설비에서 가장 큰 문제가 되고 있는 고조파의 경우 5고조파로서 역상분에 해당되므로 기기의 경우 역토크 발생으로 손실의 증가는 물론 출력감소로 이어지기 때문에 이를 줄이기 위한 다양한 대책이 연구되고 있다.

본 연구에서는 에너지변환과정에서 필수적으로 발생하는 비선형 부하에서 5고조파 성분이 지배적인 부하를 고려하여 p-q 전력변환 이론을 도입하여 보상전력 도입전후 전력변환특성을 EMTP 프로그램의 ATP-DRAW를 이용하여 해석하였다.

2. 순시전력이론[2]

3상 회로에서 순시전압 및 전류는 공간벡터로 변환된다. 순시 전력이론에서 3상 전압 및 전류는 식 (1) 및 (2)와 같이 α-β 축의 좌표변환공식으로 쉽게 변환가능하다.

$$\begin{bmatrix} e_{\alpha} \\ e_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (2)$$

순시 유효 및 무효전력을 계산하기 위해 3상 회로에 α-β 및 d-q 변환기법을 적용하는 것은 전기품질에 대한 연구와 해석에 매우 도움이 되고 있다.

식 (1) 및 (2)에서 α 와 β 는 각각 직각좌표축에서의 전압, 전류로서 순시 유효전력(p) 및 무효전력(q)은 식 (3)과 같이 나타낼

수 있다.

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{\alpha} & e_{\beta} \\ -e_{\beta} & e_{\alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (3)$$

식 (3)에서 p는 같은 축에 존재하는 성분이지만, q 는 직교 좌표축에 존재하는 성분으로서 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.?

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{\alpha} & e_{\beta} \\ -e_{\beta} & e_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} \quad (4)$$

식 (4)에서 α, β 축에서의 순시보상전류는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_{\alpha} & e_{\beta} \\ -e_{\beta} & e_{\alpha} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \tilde{p} \\ q \end{bmatrix} \quad (5)$$

식 (5)에서 \tilde{p} 는 유효전력의 고조파성분을 의미한다.

따라서 각상에 흐르는 고조파 전류를 보상하기 위해 주입되는 전류는 식 (6)과 같이 구해진다.

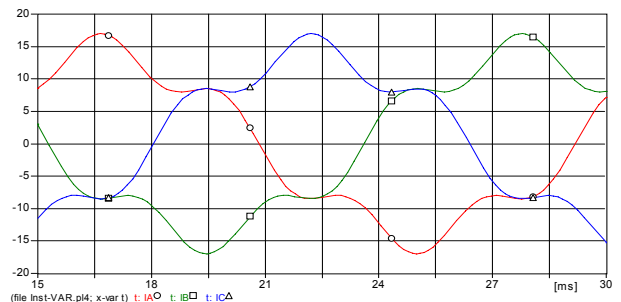
$$\begin{bmatrix} i_{ca} \\ i_{cb} \\ i_{ac} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{\alpha} \\ i_{\beta} \end{bmatrix} \quad (6)$$

3. 시뮬레이션 및 결과분석

기기의 효율적인 운전을 위해 전력변환장치를 많이 사용하고 있다. 이들 전력변환장치는 에너지변환과정에서 고조파성분이 포함된 전류가 흐르게 된다. 이와 같이 에너지 변환과정에서 발생하는 고조파 성분에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 차수는 5 조파로서 역상분이기 때문에 가장 큰 문제로 인식되어 이를 줄이기 위한 여러 가지 방법이 제시되어 왔다.

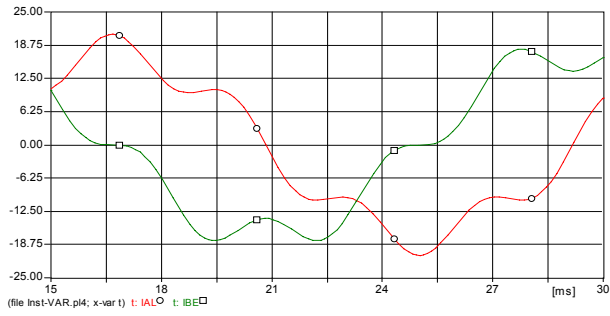
본 연구에서는 비선형 부하에서 발생하는 고조파 성분을 제거하기 위해 필터의 부착전후 전력의 특성을 전자계과도해석 프로 그래를 이용하여 비교분석하였다[3].

부하에는 정현파 전압이 인가되는 것으로 하고, 전류는 기본파 의 5차 성분이 포함된 형태의 전류형태를 그림 1과 같이 모 의하였다.



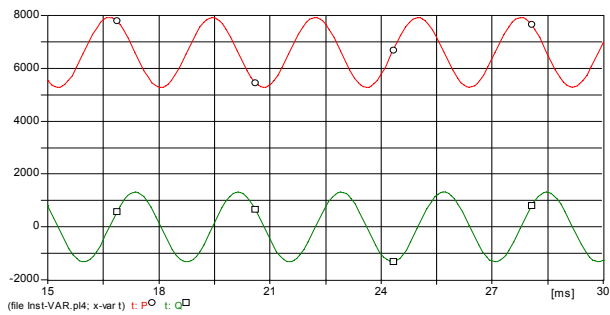
〈그림 1〉 비선형 부하의 전류

그림 2는 그림 1과 같은 전류파형을 식 (2)를 이용하여 변환시킨 형태로서 고조파 성분이 포함되어 있으므로 대칭형태가 아님을 알 수 있다.



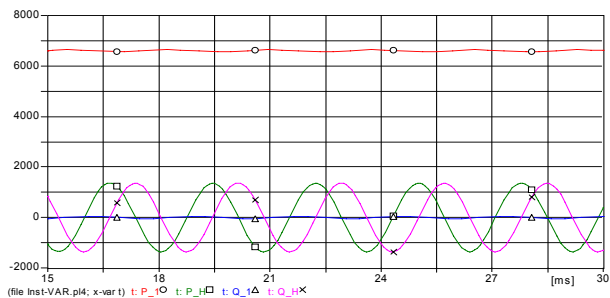
<그림 2> $\alpha - \beta$ 변환 전류

그림 3은 전류에 고조파 성분으로 인해 유효전력(p) 및 무효전력(q)에 평균값 외에 진동하는 교류성분이 포함되어 있음을 알 수 있다. 유효전력에 고조파 성분의 포함은 기기의 특성을 불안정하게 하고, 무효전력에 교류성분의 포함은 출력을 감소시키는 요소로 작용하게 된다.



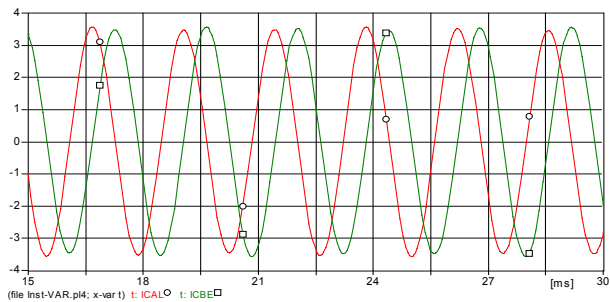
<그림 3> 보상전 유효 및 무효 전력

그림 4는 그림 3에서 고조파 성분이 포함된 전력성분에서 기본파와 고조파 성분으로 분리한 전력파형을 나타낸 것이다. 고조파 성분을 분리하기 위해 LPF를 이용하였다. 균일한 유효전력 및 무효전력의 평균값(P_1, Q_1)에 비해 고조파 성분이 포함된 전력(P_H, Q_H)은 진동하는 것을 확인할 수 있다.



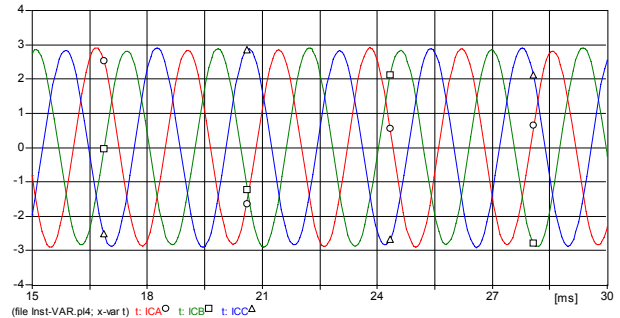
<그림 4> 유효 및 무효전력의 기본 및 고조파 성분

그림 5는 고조파 성분을 제거하기 위해 식 (5)로 구한 보상전류로서 회로에 공급되어야 한다.



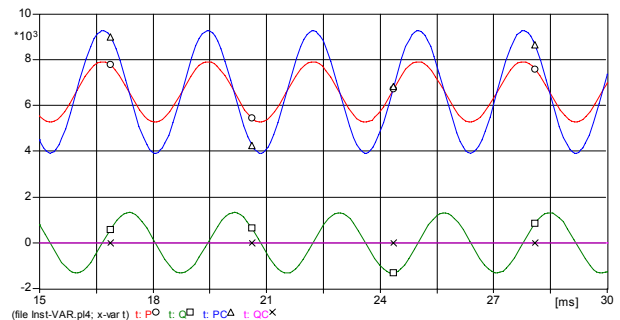
<그림 5> 순시 보상 전류

고조파 성분으로 인해 그림 3에서와 같이 유효 및 무효전력에 교류성분이 포함되어 있음을 알 수 있다. 따라서 이 전력성분에서 고조파 성분을 제외시켜야 기기에 안정적인 전원이 공급될 수 있다. 그림 6은 각상에 흐르는 고조파전류를 제거하기 위해 주입되는 보상전류로서 식 (6)으로 구한 것이다.



<그림 6> 보상 전류

그림 7은 고조파 성분이 포함된 경우의 유효전력(P:○) 및 무효전력(Q:□)과 고조파 성분을 제거하기 위해 보상전류를 주입한 후 보상된 유효전력(PC:△) 및 무효전력(QC:x)을 비교한 것이다.



<그림 7> 보상 전후 전력 비교

그림 7에서 알 수 있듯이 보상전의 유효전력에 비해 보상 후 유효 전력은 전체적으로 약간 증가하였고, 고조파 성분으로 인해 존재하던 무효전력은 맥동성분이지만, 보상 후 무효전력은 제거되어 제로가 됨을 확인할 수 있다. 따라서 고조파 성분이 제거되어 같은 피상전력에 대해 유효전력이 증가되어 부하에 공급되는 성분은 증가함을 알 수 있다.

4. 결 론

부하기기를 효율적으로 사용하기 위해 전력변환장치의 사용은 더욱 증가하고 있다. 이 전력변환장치는 에너지변환과정에서 고조파의 발생으로 손실증가와 출력감소로 발생하고 있다.

본 연구에서는 고조파의 발생시 전력의 변화를 확인하기 위해 비선형 부하에서 가장 많이 발생하는 5차 고조파의 전류 존재에 대해 보상전후 변화를 해석하였다. 고조파의 존재시 무효전력은 진동하는 성질을 가지고 있고, 유효전력은 줄어들지만, 고조파를 제거하기 위해 보상전류를 각상에 주입할 경우 무효전력은 거의 제거되고 유효전력은 증가함을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김종겸, 박영진, 이은웅, "3상 4선식 수용가의 전압불평형을 측정 분석", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회, pp.43-47, 2004. 5
- [2] Akagi, H et al., "Instantaneous reactive power compensators comprising switching devices without energy storage components", IEEE Trans on IA, Vol.20, no.3, pp.625-630, 1984
- [3] H.W. Dommel, "Electromagnetic Transients Program. Reference Manual (EMTP Theory Book)", BPA 1986.