

배전계통에서의 능동 필터에 대한 LPF의 영향 분석

박광원\*, 김현수\*, 김철환\*, 류승현\*\*  
 성균관대학교\*, 영동대학교\*\*

Analysis of the Effect of Low Pass Filter for Active Filter in Distribution System

Gwang-Won Park\*, Hyoun-Su Kim\*, Chul-Hwan Kim\*, Seung-heon Lyu\*\*  
 Sungkyunkwan University\*, Youngdong University\*\*

**Abstract** - 최근 전력 컨버터 사용의 증가로 배전계통에서의 고조파 왜곡이 날로 심각해지고, 따라서 고조파에 민감한 전력계통 기기와 고객 부하를 보호하기 위한 고조파 저감대책이 필요하다. 본 논문에서는 능동 필터와 Low-Pass Filter(LPF)를 전력계통 과도해석 프로그램인 Electro-Magnetic Transients Program(EMTP) 내의 Transients Analysis of Control Systems(TACS) 소자를 사용하여 모델링하고 고조파 발생시 능동필터에 LPF의 설치 유/무에 따른 배전계통에서의 상전류와 중성선 전류의 변화를 분석하였다.

1. 서 론

최근 우리나라는 과거와 달리 고도의 산업화와 반도체 소자를 이용한 응용기기의 다변화로 전력품질의 질적 향상이 더욱 요구되고 있다. 하지만, 고조파에 의한 과형의 왜곡은 전기 기기에 손상을 가져올 수 있으며, 고조파 전류는 전력의 효율을 감소하는 원인이 된다. 또한, 직렬 리액터 손상, 회전기의 과열, 케이블의 절연과파 및 손상, 보호계전기의 오동작, 통신선의 유도장해 등의 문제를 발생시킨다.

현재 많은 종류의 보상기기가 전력품질을 향상시키기 위해 개발되었고 그 중에 하나가 필터이다. 필터는 고조파를 제거하기 위한 목적으로 사용되며, 필터 중에 Passive Filter(수동 필터)는 저가이지만 특정 차수의 고조파만 선택하여 보상할 수 있다. 그리고 계통의 조건과 무관하게 동작하기도 하며, 고조파 대책 장치로서 계통과 병렬 공진을 일으켜 해당 고조파를 확대시키는 오류를 일으킬 가능성을 항상 내재하고 있다. 또한 인덕터는 전자기기의 소형화 및 경량화의 관점에서도 문제를 가지고 있다[1].

이러한 문제점을 개발하기 위하여 능동필터가 개발되었다. 그렇지만, 능동필터의 경우 고조파수는 제거하지 못한다. 따라서, 본 논문에서는 지역통과필터를 연결하여 고주파수까지 제거가 가능하도록 필터를 구성하였다. 이 때 지역통과필터의 유/무에 따라 배전계통의 상전류 및 중성선 전류의 변화를 분석하였다.

2. 수동 필터와 능동 필터

2.1 수동 필터

수동 필터는 저항, 인덕터, 캐패시터 등의 수동 소자만으로 구성되어 있다. 또한 수동 필터의 종류에는 Low-Pass Filter(LPF), High-Pass Filter(HPF), Band-Pass Filter(BPF), Band-Stop Filter(BSF)가 있으며, 모두 특정 주파수 성분만 필터링한다. 여기서, 4종류의 수동 필터에 대해서 정리하면 다음 표 1과 같다[2].

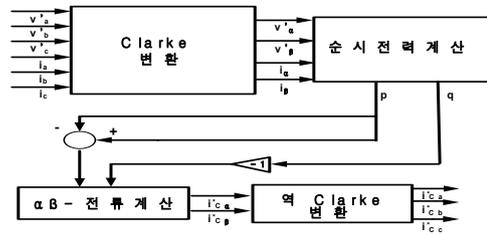
<표 1> 수동 필터의 종류

종류	필터 회로	전달함수
LPF		$T(s) = \frac{K_p}{s + p}$
HPF		$T(s) = \frac{s}{s + p}$
BPF		$T(s) = \frac{(1/Q)bs}{s^2 + (1/Q)bs + b^2}$
BSF		$T(s) = \frac{s^2 + b^2}{s^2 + (1/Q)bs + b^2}$

여기서,  $K_p$ : 대역통과 리플  
 $p$ : 차단주파수  
 $Q$ : 대역폭을 정하는 파라미터  
 $b$ : 입력주파수( $\omega_0$ )

2.2 능동 필터

능동 필터는 이론적으로 부하에서 발생하는 고조파 전류의 크기 및 차수를 검출하여 이와 180° 위상차가 나는 전류를 발생시켜 상호 상쇄시킬 수 있는 필터이다. 능동 필터의 제어과정은 다음 그림 2와 같다[3].



<그림 2> 능동 필터의 제어 회로

그림 2에서 나타낸 Clarke 변환 부분을 정리하면, 다음 식 (1), (2)와 같다[4].

$$\begin{bmatrix} v'_\alpha \\ v'_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v'_a \\ v'_b \\ v'_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

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

그림 2의 순시전력계산부는 유효전력(p)계산부와 무효전력(q)계산부로 나누어져 있으며, 식 (1),(2)를 이용하여 다음 식 (3)과 같이 계산할 수 있다.

$$p = v'_\alpha i_\alpha + v'_\beta i_\beta \quad q = v'_\beta i_\alpha - v'_\alpha i_\beta \quad (3)$$

그림 2에서 나타낸 αβ-전류 계산 부분은 다음 식 (4)와 같다. 여기서, LPF의 출력 값인  $p_{av}$ 는 순시 유효전력에 대응하는 능동 필터의 손실을 나타낸 것이다.

$$\begin{bmatrix} i^*_{C\alpha} \\ i^*_{C\beta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -p + P_{av} \\ -q \end{bmatrix} \quad (4)$$

능동 필터 제어과정의 마지막 단계로 그림 2에서의 역 Clarke 변환에 대한 식은 다음 식 (5)와 같다.

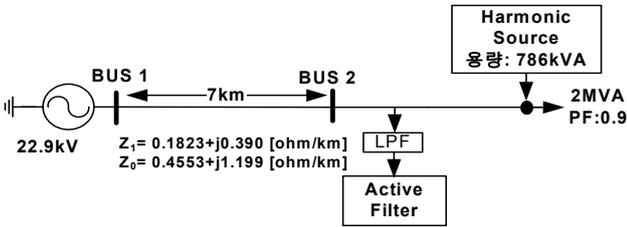
$$\begin{bmatrix} i^*_{Ca} \\ i^*_{Cb} \\ i^*_{Cc} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i^*_{C\alpha} \\ i^*_{C\beta} \end{bmatrix} \quad (5)$$

고조파가 투입된 계통에서 식 (5)를 이용하여 계산된 보상 전류의 값을 투입시킴으로서 고조파가 제거된다.

### 3. 사례 연구

#### 3.1 모의 조건

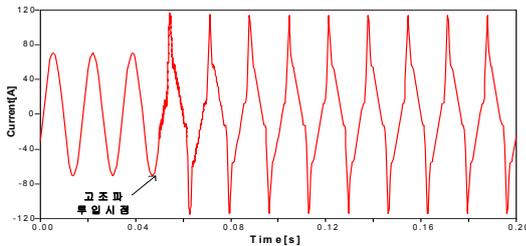
능동필터가 연결된 계통모델은 다음 그림 3과 같다. 총 부하는 2[MVA], 역률은 0.9 선로길이는 총 7[km]이며 선종은 ALOC 160이다. 여기서, 고조파원은 TACS 소자를 이용하여 모의하였다.



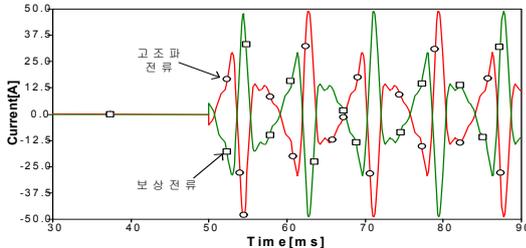
<그림 3> 능동필터가 연결된 계통 모델

#### 3.2 고조파 전류와 보상 전류의 모의 결과

다음 그림 4는 배전계통에서 고조파를 0.05[s]에 투입 후의 A상 전류 파형이고, 다음 그림 5는 그림 4에서 A상의 고조파 전류 및 보상 전류 파형이다. 여기서, 보상 전류는 고조파 전류에 대하여 180° 위상차를 가진다.



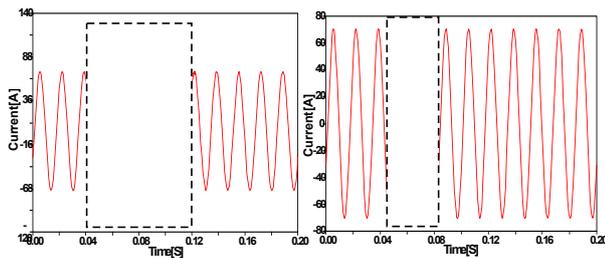
<그림 4> A상 전류에 고조파 투입(0.05[S]) 파형



<그림 5> 역고조파 투입 파형

#### 3.3 능동 필터에 LPF의 설치 유/무에 따른 모의 결과

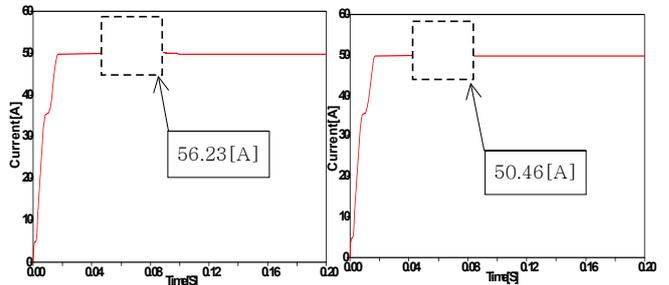
다음 그림 6~8은 고조파를 투입 후 능동 필터만 있는 경우와 능동 필터에 LPF 추가 시에 대한 모의 결과이다. 다음 그림 6은 상전류에 대한 모의 결과며, LPF 설치한 경우 전/후를 비교하면 그림 6(a)에서 알 수 있듯이 능동필터만 적용시 파형의 왜곡이 순간적으로 최대출력 값이 121[A]에서 설치 후에는 74.5[A] 차이를 보이는 것을 알 수 있다.



(a)능동 필터만 있는 경우 (b)능동 필터 + LPF

<그림 6> LPF의 설치 유/무에 따른 상전류 파형

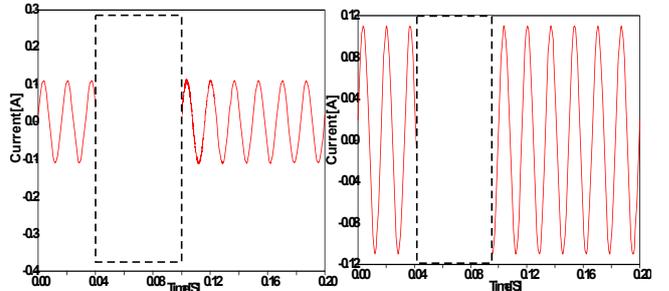
다음 그림 7은 상전류에 대한 실효치 값의 모의 결과이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 실효치 값을 서로 비교하면 LPF의 설치 전/후의 차이를 쉽게 확인할 수 있다. 결과를 비교 및 분석하면 다음과 같다. 정상 상태에서 실효치 49.8[A]에서 LPF 설치 전에는 최대출력 값이 56.23[A] 설치 후에는 50.46[A]로 그림 7(b)와 같이 LPF 설치 후에는 고조파 투입 시 실효치 값이 거의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.



(a)능동 필터만 있는 경우 (b)능동 필터 + LPF

<그림 7> LPF의 설치 유/무에 따른 상전류의 실효치 결과

다음 그림 8은 중성선에 대한 모의 결과이다. 모의 결과를 비교하면, 능동필터에 LPF 설치 전에는 그림 8(a)와 같이 파형의 왜곡이 순간적으로 0.31[A] 설치 후에는 0.11[A]로 파형의 왜곡이 다음 그림과 같이 저감되는 것을 확인할 수 있다.



(a)능동 필터만 있는 경우 (b)능동 필터 + LPF

<그림 8> 중성선 전류에 LPF 추가 설치시 파형

### 4. 결론

본 논문에서는 EMTF 내의 TACS 소자를 이용하여 능동 필터를 모델링하여 고조파 투입 후 능동필터에 LPF의 설치 유/무에 따른 영향을 분석하였다. 모의 결과에서 고조파 발생시 능동 필터를 이용해서 고조파가 저감되는 것을 확인하였다. 능동필터에 LPF의 설치 유/무를 비교하면 다음과 같다. LPF 설치 전의 경우에는 능동 필터 투입시 순간적으로 파형의 왜곡된 현상이 발생하였지만, LPF 설치한 경우에는 이런 현상이 저감되었다. 그러므로 배전계통에서 고조파를 저감하기 위한 수단으로 사용하는 능동 필터에 LPF를 추가함으로써 좀 더 효과적으로 고조파를 줄일 수 있을 것이다.

본 과제(결과물)는 지식경제부의 출연금으로 수행한  
특성화대학원사업의 연구결과입니다.

### [참고 문헌]

- [1] Bhim Singh, "A Review of Active Filters for Power Quality Improvement," IEEE Trans. Ind. Electron, Vol. 46 no. 5, pp. 960-971, 1999.
- [2] 김경화, "회로이론," 일진사, pp. 142-156, 2001. 1.
- [3] Hirofumi Akagi, Edson Hirokazu Watanabe, Mauricio Aredes, "Instantaneous power theory and applications to power conditioning" John Wiley and Sons, pp. 132-136, 2007.
- [4] Akagi, Hirofumi, Nabae, Akira, Atoh, Satoshi, "Control Strategy of Active Power Filters Using Multiple Voltage-Source PWM Converters", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. IA-22, no. 3, pp. 460-465, May. 1986.