

비선형부하에 의한 역률보상용 전력 커패시터의 고조파 문제

이동주*, 김종겸**, 이은웅*, 조연찬*
 충남대학교*, 강릉대학교**

Harmonic Problem in Power Capacitor for Power Factor Compensation due to the Nonlinear Loads

Dong-Ju Lee*, Jong-Gyum Kim**, Eun-Woong Lee*, Yeon-Chan Cho*
 Chungnam National University*, Kangnung University**

Abstract - Power capacitors are widely used to compensate the low power factor of the linear load and/or nonlinear load. Especially, nonlinear loads generates the harmonic current and it gives an undesirable effect on the power capacitors. In this paper, harmonic current from nonlinear load to the power capacitors is calculated by the computer simulation and it is compared with the experimental results.

Z_{tn} 에 비해서 충분히 작은 값이기 때문에 해석상에서 무시할 수 있고 선형부하의 n차 고조파 임피던스는 상대적으로 크기 때문에 비선형 부하로부터의 고조파 성분의 대부분은 Z_{sn} 과 Z_{cn} 측으로 분류되어 전달된다.

따라서 두 비선형 부하로부터 발생하는 합성 고조파 전류(I_{hn})는 식 (1)과 같이 나타내지고 이 고조파 전류(I_{hn})중에 전력용 커패시터측으로 유입되는 전류는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{hn} = I_{h1n} + I_{h2n} \quad (1)$$

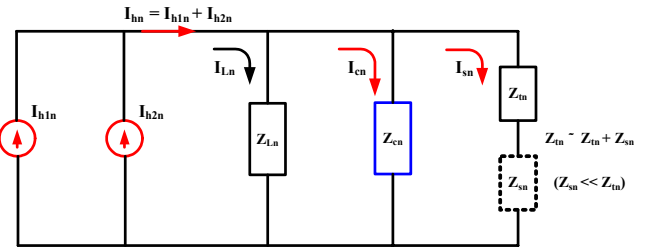
$$I_{cn} = I_{hn} \times Z_{pn} / (Z_{pn} + Z_{cn}) \quad (2)$$

(여기서, Z_{pn} : Z_{Ln} 과 Z_{tn} 의 병렬 합성 임피던스 [Ω])

1. 서론

전력용 커패시터는 배전계통에서 선형부하의 역률을 보상하기 위해서 변압기의 2차측에 설치되어 널리 사용되고 있다. 하지만 배전계통에 존재하는 6펄스 정류기, 모터구동용 가변속장치와 같은 전력전자기는 전원측으로 많은 양의 고조파를 반송하는 비선형 부하이다. 이와 같은 고조파는 전원측에 위치한 역률보상용 커패시터에 유입되어 그 수명을 낮추는 요인으로 작용한다.

그래서 본 연구에서는 비선형부하로부터의 고조파 성분이 전력용 커패시터에 미치는 영향을 분석하고자 고조파 발생원으로 세미컨버터와 6펄스 다이오드 정류기를 내장한 PWM 인버터를 선택하여 그 고조파에 의한 영향을 시뮬레이션 소프트웨어로 계산하고 그 결과를 실측 결과와 비교 분석하였다. 세미컨버터는 3상 반파 정류기의 한 종류로서 저용량 정류기에 사용되고 있으며 입력전류에 짝수 고조파 성분을 포함하고 있는 기기이다[1,2]. 또한 6펄스 다이오드 정류기는 출력전압을 제어할 수는 없지만 간단한 구조와 경제적인 측면에서 유리해서 모터 구동용 PWM 인버터의 AC/DC변환부에 널리 사용되고 있는 기기이다[3].

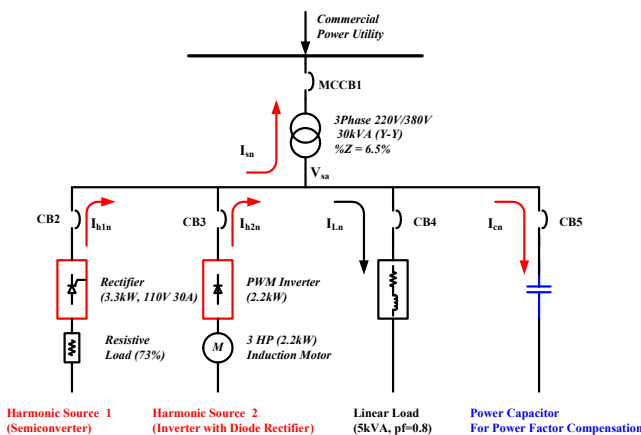


<그림 2> 등가회로

2. 시스템 구성 및 등가회로

2.1 시스템 구성

그림 1은 본 연구에서 사용한 시스템의 구성도이고 V_{sa} 는 변압기 2차 상전압, I_{h1n} 은 고조파 발생원 1(세미컨버터)에 의한 고조파 전류이고 I_{h2n} 은 고조파 발생원 2(PWM 인버터)에 의한 고조파 전류이고 I_{Ln} 은 선형부하에 흐르는 전류이고 I_{cn} 은 전력용 커패시터에 유입되는 전류이다.



<그림 1> 시스템 구성

2.2 등가 회로 및 커패시터 유입전류

그림 2는 그림 1의 등가회로를 나타낸 것이고 그림 2에서 Z_{Ln} 은 선형부하의 n차 고조파 임피던스, Z_{cn} 은 전력용 커패시터의 n차 고조파 임피던스, Z_{tn} 은 입력측 변압기의 n차 고조파 임피던스, Z_{sn} 은 전원측 n차 고조파 임피던스이다. 일반적으로 전원측 단락용량이 매우 크므로 Z_{sn} 은

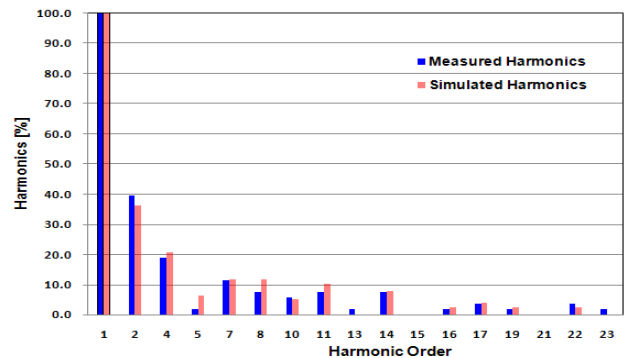
3. 해석결과 및 측정결과

3.1 각 고조파 발생원 분석

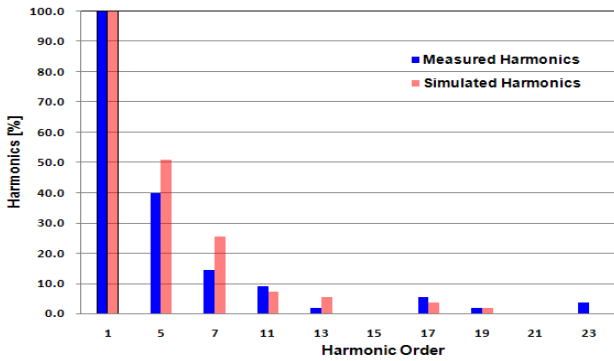
그림 2와 같은 등가회로를 기초한 해석적인 방법, look-up table를 기초한 모델 해석방법, 수치해석으로 고조파 분석이 Steffan Hansen(3)에 의해서 선행 연구되었는데 그 결과 전력전자기에 포함되어 있는 비선형을 해석하기 위해서는 회로 시뮬레이션 소프트웨어를 사용한 해석결과가 실제 측정값에 근사하였다.[2] 따라서 본 연구에서는 그림 1의 배전 시스템을 시뮬레이션 소프트웨어(Psim)로 해석하고 그 결과를 실험결과와 비교하여 커패시터에 유입되는 고조파 전류를 분석하였다.

그림 3은 세미컨버터 단독운전시, 입력전류파형의 FFT분석결과이고 그림 4는 PWM 인버터 단독운전시, 입력전류파형의 FFT분석결과이다.

그림 3에서 보여지는 바와 같이 세미컨버터는 5차, 7차와 같은 홀수차 고조파 성분과 추가로 2차, 4차 같은 짝수차 고조파성분이 입력전류에 포함되어있는 것이 특징이다. 그리고 그림 4에서는 PWM 인버터는 5차, 7차 고조파를 주로 발생되고 있는 것을 시뮬레이션 결과와 측정결과에서 확인할 수 있다.



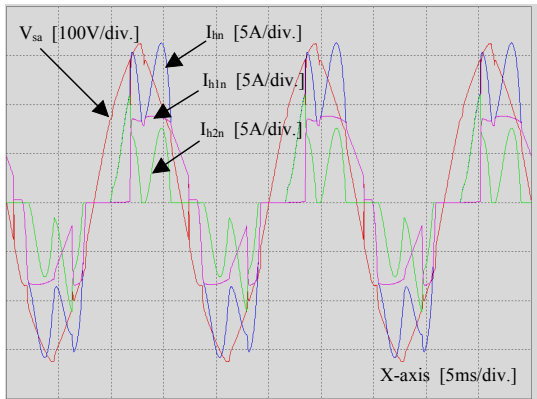
<그림 3> 세미컨버터 입력전류 고조파 분석



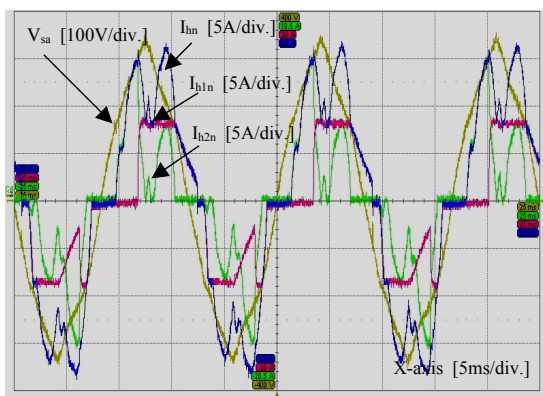
〈그림 4〉 PWM 인버터 입력전류 고조파 분석

3.2 합성 고조파 성분 (I_{hn})

그림 5(a)는 고조파 발생원인 세미 컨버터와 PWM 인버터로 동시에 운전하는 경우 입력전류파형 해석결과이고 그림 5(b)는 실측한 입력전류파형이다. 이 그림 5(a) (b)에서 전원 변압기 2차측 전압(V_{sa})과형에 합성 고조파 성분으로 인한 왜형이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서 사용한 전원시스템 구성에서는 고조파 발생원 1인 세미컨버터보다 고조파 발생원 2인 PWM 인버터에 의한 영향이 더 커서 합성 고조파 전류(I_{hn})파형이 고조파 발생원 2의 입력전류파형(I_{h2n})에 가까웠다.



(a) 해석 결과

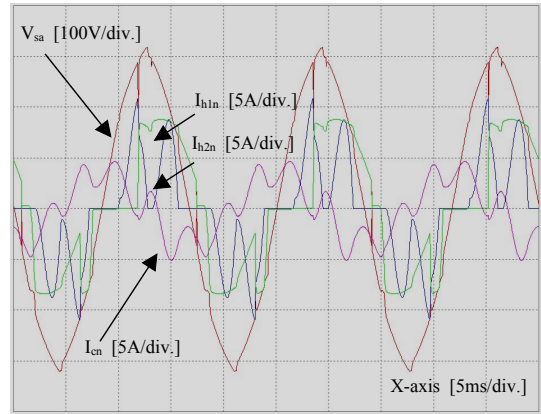


(b) 측정 결과

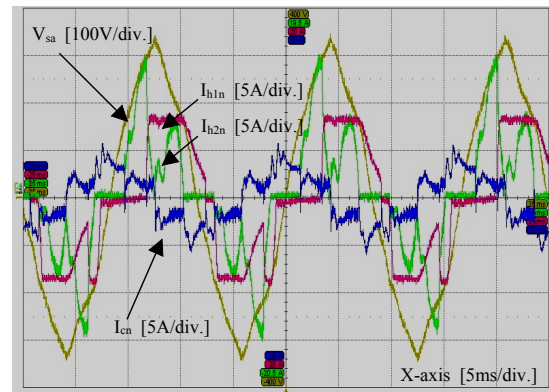
〈그림 5〉 세미컨버터와 PWM 인버터가 동시 운전시 입력전류파형

3.3 커패시터측 고조파 전류

그림 1상의 선형부하(5kVA, pf=0.8)와 역률보상용 커패시터로 구성된 부하 단에 두 고조파 발생원, 세미 컨버터와 PWM 인버터로 구성된 전원으로 전원을 공급하여 운전하는 경우, 그림 6(a)는 커패시터에 유입하는 전류파형을 해석한 결과이고 그림 6(b)는 실측한 커패시터 입력전류파형이다. 이 그림 6(a) (b)의 해석결과와 실측결과에서 비선형 부하에서 발생한 합성 고조파 성분의 반송에 의해서 커패시터 유입전류파형에 고조파 성분이 다량 함유하는 것을 확인할 수 있다.



(a) 해석 결과



(b) 측정 결과

〈그림 6〉 커패시터에 유입되는 고조파 전류

이와 같이 비선형부하에서 반송되는 고조파 성분이 커패시터에 유입되므로 정원과 유입 전류의 경우에 비해서 커패시터 내부에 발열을 증가시키기 때문에 커패시터 수명을 단축하는 주요한 요인으로 작용한다. 따라서 커패시터에 유입되는 고조파 전류를 정확하게 해석하게 되면 커패시터의 열화정도 및 수명예측이 가능하다.

3. 결 론

본 연구에서는 세미컨버터와 PWM 인버터와 같은 고조파 발생원을 전원으로 선형부하와 역률보상용 커패시터로 구성된 부하 단에 전력을 공급하는 시스템에서 각 고조파 발생원에 발생하는 고조파 전류를 해석하고 측정된 결과를 비교 분석하였다. 그리고 세미 컨버터와 PWM 인버터에서 발생하는 고조파 전류가 역률보상용 커패시터에 유입되어 발생하는 왜형과 전류를 해석하여 측정결과와 비교하였다.

본 연구를 기초로 해서 향후 비선형 부하로부터의 고조파 성분이 커패시터에 유입되었을 때 커패시터에 미치는 영향과 그에 의한 수명 감소를 예측하고자 한다.

감사의 글

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

[참 고 문 헌]

- [1] Muhammad H. Rashid, Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications, Prentice-Hall, Inc., 1993, pp. 153-158.
- [2] Le Tang, Melhorn, C.J., "Operational and Harmonic Concerns Associated with a Semiconverter", IEEE 46th Annual Conference, pp. 35-41, 26-27 April 1994.
- [3] Hansen, S.; Asiminoaei, L.; Blaabjerg, F., "Simple and Advanced Methods for Calculating Six-Pulse Diode Rectifier Line-Side harmonics", IEEE 38th IAS Annual Meeting, Vol. 3, pp. 2056-2062, 12-16 Oct. 2003