

# 배전계통에서의 SuperHarm을 이용한 고조파·분석 및 필터 설계

(Harmonic Analysis and Filter Design on Distribution System using SuperHarm)

이종포\* · 김철환\*\*

(Jong-Po Lee · Chul-Hwan Kim)

## 요 약

배전계통에서 전력전자 설비(특히, 가변속 구동장치)의 증가는 고조파 왜곡 현상과 더불어 그로 인해 발생하는 계통 설비와 운용에 미치는 영향에 대한 관심의 증대를 가져오게 하였다. 그러므로, 최근에 고조파 연구는 전력계통의 분석과 설계에 있어 중요한 관점이 되고 있다.

고조파와 관련된 컴퓨터 시뮬레이션들은 전력계통에서 전압 왜곡 현상을 나타내는 방법으로 사용되어져 왔다. 많은 디지털 컴퓨터 프로그램들이 고조파 분석을 위해서 사용되고 있다. 주파수 스펙트럼 분석에 있어서, SuperHarm을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션은 다른 프로그램을 사용하는 것보다 뛰어나다. 따라서, SuperHarm을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션은 비선형 부하인 가변속 구동장치로 인해 발생하는 고조파의 영향을 평가하는 효과적인 방법 중 하나이다.

본 논문에서는 가변속 구동장치의 부하변동에 따른 고조파 전압 분포를 계산하고, 고조파 저감을 위해 필요한 최적의 고조파 필터를 설계하였다.

## Abstract

The increasing application of power electronic equipment [especially (ASDs : adjustable speed drives)] on distribution systems has led to a growing concern for harmonic distortion and the resulting impacts on system equipment and operations. Therefore, harmonic studies have become an important aspect of power system analysis and design in recently years.

Computer simulations which is related harmonic are used to quantify the distortion in voltage waveforms in a power system. Many digital computer programs are available for harmonic analysis. In frequency spectrum analysis, Simulation using SuperHarm program is superior to simulation using others. Therefore, Computer simulation using SuperHarm program is one of the effective ways to assess the harmonic effects of ASDs.

The purpose of this study is to calculate the quantity of harmonic voltage by varying the ASD side load and to design the optimal harmonic filter for the elimination of harmonics.

## 1. 서 론

전력계통에서 전력의 품질은 고유한 전원 전압과 주파수를 유지하는 것이다. 반면에, 외란은 정격전압

---

\* 정회원 : 성균관대학교  
전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정  
\*\* 정회원 : 성균관대학교  
전기전자 및 컴퓨터공학부 교수  
접수일자 : 2000년 6월 9일

의 크기와 주파수에서 변동, 왜곡 혹은 정현파 전압 파형의 이탈을 나타낸다. 배전계통은 설비회사와 수용기뿐만 아니라, 수용가 선로를 또한 서로서로 연결되어 있기 때문에, 다양한 부하들의 영향을 받는다. 즉, 각각의 발생된 외란으로 영향을 미치기도 하고 발생된 외란에 의해 영향을 받기도 한다[1].

이러한 외란 중에서도, 계통과 부하간에서 가장 빈번하게 일어나는 발생되는 현상으로서는 고조파(harmonics) 현상을 들 수가 있다. 고조파는 비선형 부하 등 여러 가지 고조파 발생원과 연결될 때 나타나며 고조파 전류로 인한 계통 리액턴스 전압강하로 인하여 심각한 전압 왜곡을 초래한다.

전력계통에서 발생하는 주요한 고조파 원인으로는 변압기, 비선형 리액터 등의 포화 설비, 아크로, 용접기 등의 아크 설비, adjustable speed drive, process controllers 등의 전력전자 설비가 있다. 이들 중 최근 사용이 급증하고 있는 전력전자 설비들은 스위칭에 의한 제어특성으로 인해 전력계통에 많은 고조파를 주입시키고, 역률까지 저하시키는 문제점을 발생시키고 있다.

그래서, 전력계통에서 비선형 부하로 인해 발생하는 고조파의 분석 및 영향을 살펴보는데 유용한 SuperHarm을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 전력전자 설비 중에서도 ASD(adjustable speed drive) 축 부하변동에 따른 고조파 분석 및 저감을 위한 최적 필터를 제시하고자 한다.

## 2. 고조파

### 2.1 고조파 이론

선형 네트워크에 정현파의 정전압이 인가되었을 때, 정현파의 전류가 생기게 되는데, 이 때 비선형적인 요소들이 유입되었을 때 고조파는 발생한다. 고조파 성분은 기본 주파수의 정수 배에 해당하는 주파수들이며, 주기적인 파형들이다. Fourier series 전개식을 이용하면, 고조파의 전압과 전류는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n \cos(n\omega_0 t + \theta_n) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \cos(n\omega_0 t + \phi_n)$$

여기에서, n은 고조파 수 또는, 고조파의 차수라고 부를 수 있다. 이들 식에서, dc성분은 (변압기에 의해 차단되어) 없다고 가정한다. 기본 주파수는 n = 1, 2 고조파는 n = 2, 3 고조파는 n = 3에서 일어난다. 크기와 고조파의 차수는 왜곡을 일으키는 장치의 종류에 따라 다양하게 일어난다.

고조파 성분의 표시에 대표적으로 표현되는 기준으로서는 THD(Total Harmonic Distortion)가 있다. THD는 왜곡된 파형에 대한 고조파 성분의 가장 효과적인 값을 나타내게 되는데, 식 (2)와 같이 표현된다[2].

$$THD = \frac{1}{M_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} M_h^2} \quad (2)$$

여기에서,  $M_h$ 는 M의 크기를 가지는 h차 고조파의 실효치이다. 그리고, 왜곡된 전압 및 전류에 대한 고조파 성분을 각각  $THD_v$ ,  $THD_i$  로 나타낼 수 있다.

### 2.2 PCC (Point of Common Coupling)

PCC(Point of Common Coupling)란 다른 수용가가 공급자로부터 연결된 지점을 말한다[3-4]. 일반적으로 PCC는 그림 1과 같이 수용가 변압기의 고압측이 되는 지점을 지시하지만, 그림 2와 같은 경우에는 다른 수용가로 연결되는 지점인 변압기의 저압측을 지시한다. 이러한 PCC에서는 IEEE 519 등과 같은 고조파 제한 기준이 적용되게 된다.

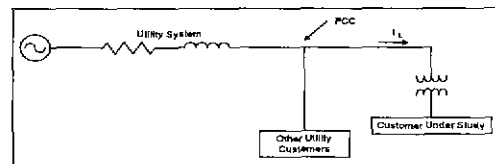


그림 1. PCC (수용가 변압기 고압측)  
Fig. 1. PCC (At the high side of TR)

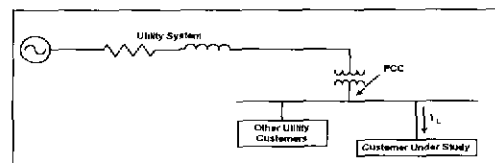


그림 2. PCC (수용가 변압기 저압측)  
Fig. 2. PCC (At the low side of the TR)

### 2.3 고조파 제한

전력계통에 유입되는 고조파를 억제하기 위한 관리 기준으로서는 IEC 555, ANSI/IEEE C57, IEEE 519 등이 있다.

위에서 언급한 고조파 관리 기준 중에서 가장 널리 사용되고 있는 IEEE 519에서는 수용가로부터 계통에 유출되는 고조파 전류의 제한인 전류 왜곡 제한과 수용가의 전력계통과 공급자의 전력계통의 연결 지점에서 고조파 전압의 제한인 전압 왜곡 제한을 적용하고 있다[3-4]. 즉, 전력 공급자는 전력계통 전반의 전압 품질에 대한 책임이 있는 반면, 개별 전력 수용가들은 고조파 전류가 다른 수용가 또는 계통 내에 유입되지 않도록 해야 한다[5].

표 1에서는 전력 공급자에게 적용되는 IEEE 519 전압 왜곡 제한을 나타내었다.

표 1. IEEE 519 전압왜곡 한계치  
Table 1. IEEE 519 Harmonic Voltage Limits

Bus Voltage at PCC ( $V_n$ )	Individual Harmonic Voltage Distortion (%)	Total Harmonic Distortion - THD $V_n$ (%)
$V_n \leq 69$ [kV]	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$ [kV]	1.5	2.5
$V_n > 161$ [kV]	1.0	1.5

### 2.4 Filter

고조파 저감기법으로는 상수 증대법, 수동필터, 능동필터, 변압기 델타(delta)결선 등 여러 가지 기법이 있다. 이 중에서도 전력계통에서 고조파 저감대책으로는 필터가 널리 사용되고 있다.

수동필터는 R, L, C로 구성되며 그 크기는 제거하고자 하는 고조파의 주파수에서 직렬공진이 발생되도록 설정한다. L-C 필터에는 여러 가지 종류가 있으나 일반적으로 사용되는 것은 L, C의 값을 공진시키거나 차수의 임피던스를 낮게 선정하여 고조파 전류가 필터 측으로 흐르도록 유도하는 것으로 동조필터와 고역통과필터가 있다. 동조필터는 단일고조파 흡수, 고역통과필터는 복수고조파의 흡수에 적용하는 것이 일반적이다.

그림 3에서는 수동필터의 간단한 구조를 보이고 있다. 그림 3의 (a)는 단일 동조필터를 나타낸 것이고, (b)는 리액터와 저항을 병렬 접속한 것에 콘덴서를 직렬로 접속한 2차 고역통과필터이다[6].

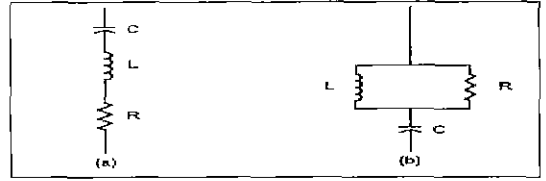


그림 3. 수동 필터  
Fig. 3. Passive filter

## 3. SuperHarm

SuperHarm은 전력계통에서 비선형 부하로 인해 발생하는 고조파의 분석 및 영향을 살펴보는 데 매우 유용한 프로그램이다. 현재 전력계통에서 가장 널리 사용되고 있는 전력 계통 과도해석 프로그램으로는 Electromagnetic Transients Program(EMTP)가 있지만, EMTP에서의 모의 결과는 시간 영역에 대해서 표현하고 있다. 하지만, 고조파 분석에 있어서는 주파수 영역에서 모의 결과를 분석해야 한다. 즉, EMTP를 통해서 모의 실험을 할 경우에는 모의된 결과를 시간영역에서 다시 주파수 영역으로 푸리에 변환 등을 사용하여 바꾸어 주어야 하는 불편이 있는 반면, SuperHarm을 통해서 모의 실험을 할 경우에는 모의된 결과를 변환 없이 TOP(The Output Processor)에서 주파수 스펙트럼으로 표현된다.

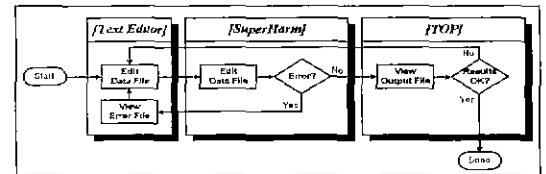


그림 4. SuperHarm 모의 과정  
Fig. 4. SuperHarm simulation process

그림 4과 그림 5에서는 각각 SuperHarm 프로그램에서의 모의 과정과 데이터 처리를 보여준다. 그림 6을 통해 알 수 있듯이 입력 파일은 include 파일과 library 파일을 subroutine으로 사용할 수 있고, 출력 파일은 TOP을 이용하여 주파수 스펙트럼으로 나타낸다. 한편, SuperHarm 프로그램에 있어서, 데이터 표현은 NONLINEARLOAD, BRANCH, MACHINE, VSOURCE 등의 라이브러리를 사용하고, 지시문으로는 #DEFINE/#UNDEF, #IF/#ELSEIF, Discard/Retain,

SCAN, OPTIONS, #INCLUDE, #LIBRARY 등이 있다 [7-8]

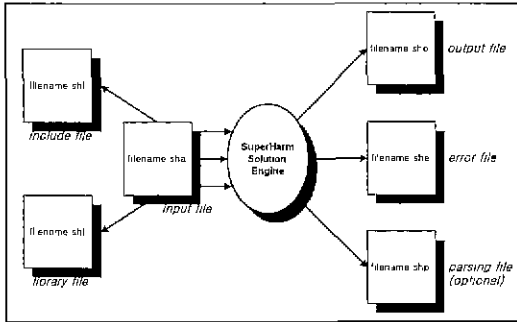


그림 5. SuperHarm 데이터 처리  
Fig. 5. SuperHarm data process

## 4. 모의 결과

### 4.1 배전계통 모델

그림 6은 본 논문에서 모의된 모델 배전계통도를 나타낸다.

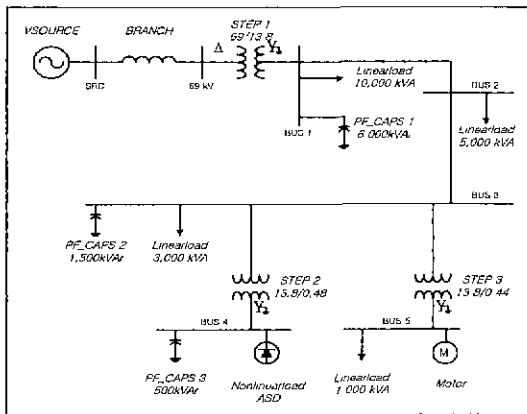


그림 6. 모의 배전계통도  
Fig. 6. Distribution system used for the simulations

69[kV]의 전원을 가지는 이 모델은 69/13.8[kV], 13.8/0.48[kV], 13.8/0.44[kV]의 강압용 변압기 및 역률 개선용 커패시터 뱅크, 여러 모선에서의 선형 부하로 구성되어 있다. 또한, bus 4에 위치한 전류원으로 표시되어 있는 고조파 발생원 ASD는 계통 내에

고조파 전류를 유입시키고, 이에 따른 전압왜곡을 발생시킨다.

### 4.2 ASD 측 부하변동에 따른 고조파 분석

고조파 발생원인 ASD 측의 부하가 변동함에 따라, 각 모선에서는 고조파 현상의 변화가 발생한다. 표 2는 ASD 측의 부하변동에 따른 각각 다른 모의 형태를 나타내었다. 한편, 그림 6에서 제시된 모델 배전계통도에서 PCC는 bus 1이다.

표 2. 모의 형태  
Table 2. Case studies

ASD 측 부하 변동	
모의 실험 1	100 % 부하
모의 실험 2	75 % 부하
모의 실험 3	50 % 부하

표 3에서는 표 2에서 제시된 ASD 측 부하 변동에 따른 각각의 모의 실험에 대한 PCC에서의 고조파 전압 성분을 나타내었고, 그림 7에서는 기본파에 대한 PCC에서의 고조파 전압을 주파수 스펙트럼으로 나타내었다.

표 3. ASD 측 부하변동에 따른 PCC에서의 고조파 전압 성분

Table 3. Harmonic voltage at the PCC by varying the ASD side load

	Fund	% THD <sub>v</sub>	H3	H5	H7	H9
모의 실험 1	7694.59	7.72819	6.50E-12	579.854	127.335	2.29E-11
모의 실험 2	7690.19	8.95361	1.10E-11	663.923	178.905	1.46E-11
모의 실험 3	7694.59	9.72337	1.00E-11	715.903	208.073	1.10E-11

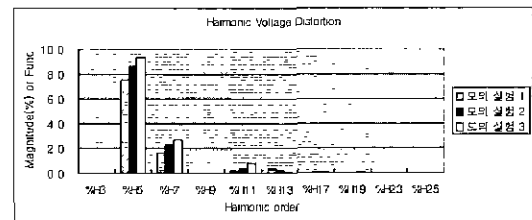


그림 7. ASD 측 부하변동에 따른 PCC에서의 주파수 스펙트럼

Fig. 7. Frequency Spectrum at the PCC by varying the ASD side load

표 3과 그림 7을 통해 알 수 있듯이 ASD 측의 부하 변동에 따른 고조파 전압의 변화에 있어서, 부

하가 감소함에 따라 PCC에서의 고조파 성분은 증가함을 볼 수 있다.

표 4에서는 고조파 발생원 ASD로 인해 발생된 고조파 현상을 각 모선에서의 % THD<sub>v<sub>n</sub></sub>를 사용하여 나타내고 있는데, 계통 내 여러 모선에 영향을 주는 것을 확인할 수 있다. 앞서 살펴본 PCC 에서와 마찬가지로 ASD 측의 부하가 감소함에 따라 여러 모선에서의 고조파 성분은 증가함을 볼 수 있다. 또한, 그림 8에서는 69[kV] 모선에서 부하변동에 따른 고조파 전압 변화를 주파수 스펙트럼으로 나타내었다.

표 4. ASD 측 부하변동에 따른 각 모선에서의 THD  
Table 4. THD at the buses by varying the ASD side load

	69 kV_A	bus 1_A	bus 2_A	bus 3_A	bus 4_A	bus 5_A
모의 실험 1	3.79771	7.72819	7.66889	7.69919	8.99391	7.56560
모의 실험 2	4.39608	8.95261	8.91236	8.91149	9.91848	8.75681
모의 실험 3	4.77817	9.72337	9.66797	9.66503	12.3546	9.49723

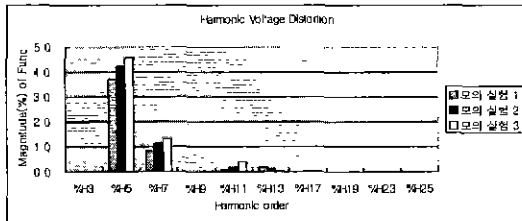


그림 8. ASD 측 부하변동에 따른 69kV 모선에서의 주파수 스펙트럼  
Fig. 8. Frequency Spectrum at the 69 kV bus by varying the ASD side load

한편, 세 가지의 모의 실험 모두 PCC 에서의 THD가 IEEE 519 고조파 제한 기준인 5%를 초과하였다. 따라서, IEEE 519 고조파 제한 기준인 5% 이내의 THD를 가지기 위해서는 고조파 필터가 필요함을 알 수 있다.

### 4.3 최적의 Filter 선정

앞 절을 통해서 PCC에서 IEEE 519 고조파 제한 기준인 5% 이내의 THD를 가지기 위해서는 고조파 저감 기법이 필요함을 알 수 있었다. 본 연구에서는 전력 공급자의 측면에서 중요시되는 전압 품질을 향상시키기 위해 고조파 전압 성분 및 왜형률을 분석하였으며, 그림 6의 모델 배전계통도에서 여러 모선

에서 고조파 필터를 적용하였다. 필터 설계에 있어서는 계통의 주파수 응답을 계산하는 Frequency scan을 이용하였으며, bus 1, bus 3, bus 4의 각각의 PF\_CAP을 대신하여 여러 가지 고조파 필터를 설치해 본 결과, bus 4의 위치에 설치하였을 때 가장 효과적인 저감 현상을 보였다. 또한, 그림 7~8에서 나타난 바와 같이 5고조파 성분이 가장 크게 나타나므로 5<sup>th</sup> 고조파 필터를 적용하였으며, 수동필터의 문제점으로 제시되고 있는 전원 측에서 고려한 전원임피던스와 수동필터의 직렬공진 현상과 부하 측에서 고려한 전원임피던스와 수동필터의 병렬공진 현상 문제를 해결하기 위해 bus 4의 PF\_CAP3를 대신하여 각각 5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 13<sup>th</sup> 고조파 필터를 설치하였을 때를 비교함으로써 최적의 고조파 필터를 선정하였다.

한편, 각 고조파 필터의 구성은 bus 4의 전압이 66 kV이하이므로, 동조 필터 중에서도 R-L-C로 구성된 것이 아닌, L-C만으로 구성된 필터를 적용하였고, L, C의 값을 공진시키고자 하는 차수의 임피던스를 낮게 선정하여 고조파 전류가 필터 측으로 흐르도록 유도함으로써, 고조파 저감을 확인하였다.

표 5. 69 [kV] 모선에서 고조파 필터 설치 전과 각 고조파 필터 설치후의 고조파 전압 성분 (100% 부하)

Table 5. Harmonic voltage of the without harmonic filter and the with each harmonic filter at the 69 kV bus (100% Load)

69kV_A	% H3	% H5	% H7	% H9	% H11	% H13
without filter	2.40E-14	3.70319	0.81324	3.19E-14	0.10332	0.19201
5 <sup>th</sup> filter	2.59E-14	0.70440	0.52579	1.49E-14	0.02890	0.04795
7 <sup>th</sup> filter	2.47E-14	3.30342	0.07131	1.07E-14	0.02301	0.03964
11 <sup>th</sup> filter	2.42E-14	3.61179	0.98463	2.77E-14	0.00083	0.01567
13 <sup>th</sup> filter	2.42E-14	3.64304	0.90958	5.92E-14	0.01819	0.00081

표 6. bus 1 모선에서 고조파 필터 설치 전과 각 고조파 필터 설치후의 고조파 전압 성분 (100% 부하)

Table 6. Harmonic voltage of the without harmonic filter and the with each harmonic filter at the bus 1 bus (100% Load)

bus 1	% H3	% H5	% H7	% H9	% H11	% H13
without filter	8.45E-14	7.53586	1.65487	2.97E-13	0.21024	0.39070
5 <sup>th</sup> filter	9.12E-14	1.49435	1.07188	1.39E-13	0.05881	0.09756
7 <sup>th</sup> filter	8.69E-14	6.72205	0.14510	9.91E-14	0.04683	0.08066
11 <sup>th</sup> filter	8.54E-14	7.34972	2.00359	2.58E-13	0.00168	0.03189
13 <sup>th</sup> filter	8.51E-14	7.41334	1.85089	5.51E-13	0.03701	0.00161

표 5에서는 69[kV] 모선, 표 6에서는 PCC인 bus 1 모선에서 각각 필터의 유무 및 각 고조파 필터의 적용에 따른 고조파 전압 성분을 나타내었다.

또한, 그림 9~10에서는 100 % 부하에서의 각 고조파 필터를 설치하였을 때와 필터를 설치하지 않았을 때의 배전계통 각 모선에서의 고조파 전압 왜곡 스펙트럼의 형태로 나타내었다. 그림 9는 69[kV] 모선, 그림 10은 bus 1 모선에서 각각 필터의 유무 및 각 고조파 필터의 적용에 따른 고조파 왜곡을 비교하였다.

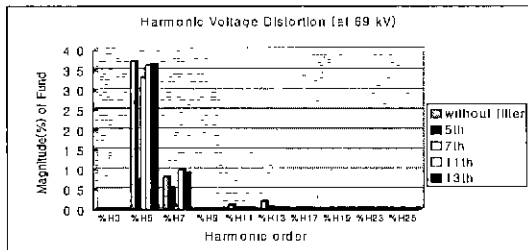


그림 9. 69 kV 모선에서 고조파 필터 설치 전과 각 고조파 필터 설치 후의 주파수 스펙트럼 (100 % 부하)

Fig. 9. Comparison of the without harmonic filter and the with each harmonic filter at the 69 kV bus (100 % Load)

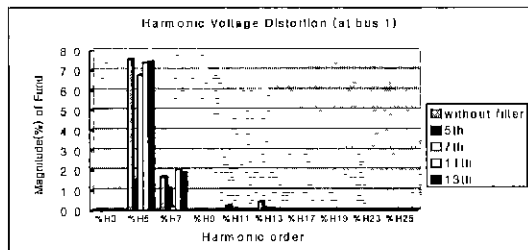


그림 10. bus 1 모선에서 고조파 필터 설치 전과 각 고조파 필터 설치 후의 주파수 스펙트럼 (100 % 부하)

Fig. 10. Comparison of the without harmonic filter and the with each harmonic filter at the bus 1 bus (100 % Load)

표 5~6 및 그림 9~10을 통해 알 수 있듯이 7<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 13<sup>th</sup> 고조파 필터보다 5<sup>th</sup> 고조파 필터를 적용하였을 때 배전계통에서 고조파 저감 현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있었다. 또한, 100 % 부하에서와 마찬가지로 5<sup>th</sup> 고조파 필터는 75 %

50 %의 부하의 조건에서도 PCC에서의 THD가 각각 2.2855, 2.5567의 값으로 IEEE 519 고조파 제한 기준 이내의 값을 가진다. 이와 같이 본 모의 모델 배전계통도에서는 5<sup>th</sup> 고조파 필터의 적용시 수동필터의 문제점인 직렬공진 및 병렬공진 현상 또한 나타나지 않음을 알 수 있다.

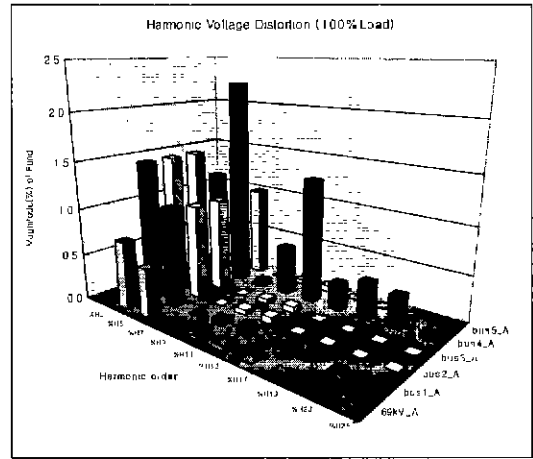


그림 11. 5<sup>th</sup> 고조파 필터 설치시 각 모선에서의 고조파 전압 (100% 부하)  
Fig. 11. Harmonic voltage at the buses when 5<sup>th</sup> filter installs (100 % Load)

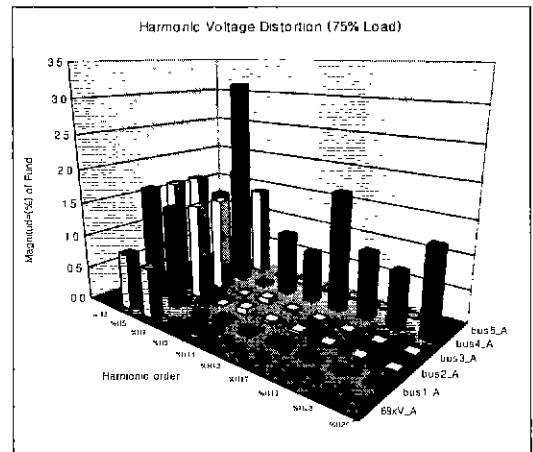


그림 12. 5<sup>th</sup> 고조파 필터 설치시 각 모선에서의 고조파 전압 (75% 부하)  
Fig. 12. Harmonic voltage at the buses when 5<sup>th</sup> filter installs (75 % Load)

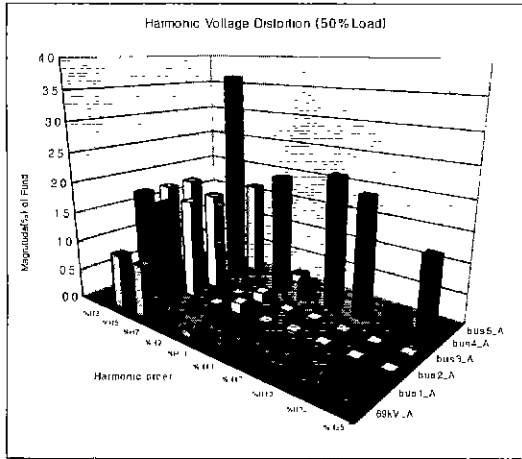


그림 13. 5<sup>th</sup> 고조파 필터 설치시  
 각 모선에서의 고조파 전압 (50% 부하)  
 Fig. 13. Harmonic voltage at the buses when  
 5<sup>th</sup> filter installs (50 % Load)

그림 11~13에서는 부하 변동에 따라, 최적의 필터인 5<sup>th</sup> 고조파 필터를 적용하였을 때, 각 모선에서 고조파 전압 왜곡에 대한 스펙트럼을 나타내었다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 고조파 발생원인 adjustable speed drive 측의 부하변동에 따른 배전계통 내의 각 모선에서의 고조파 전압 왜곡을 살펴보고, 여러 가지 고조파 필터를 적용함으로써 고조파 저감을 나타내었다. ASD 측의 부하변동과 필터 적용에 대하여 다음과 같은 결론을 정리하였다.

1. ASD 부하가 감소함에 따라, 배전계통 내의 각 모선에서 고조파 전압 왜곡 현상인 THD는 증가하였다.
2. ASD 부하변동에 따른 고조파 전압 왜곡 현상의 변화가 있었지만, 부하변동의 모든 경우 PCC에서의 THD는 7.7282(100 % 부하), 8.9626(75 % 부하), 9.7234(50 % 부하)의 값으로 IEEE 519 고조파 제한 기준 이상으로 나타났다.
3. 5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 11<sup>th</sup>, 13<sup>th</sup> 고조파 필터를 커패시

터 뱅크를 대신하여 설치함에 따른 PCC 및 각 BUS에서의 THD 변화를 살펴보았다. 5<sup>th</sup> 고조파 필터 적용시 PCC에서의 THD는 부하변동의 경우에 따라 1.8426(100 % 부하), 2.2855(75 % 부하), 2.5567(50 % 부하)의 값으로 IEEE 519 고조파 제한 기준 이하로 나타났다. 즉, 5<sup>th</sup> 고조파 필터 적용시 가장 효과적인 저감 효과를 나타냄을 알 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, H. Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill.
- [2] IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Modeling and Simulation of the Propagation of Harmonics in Electric Power Networks, Part 1 & 2", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, pp. 452-474, 1996.
- [3] Mark F. McGranaghan, David R. Mueller, "Designing Harmonic Filters for Adjustable-Speed Drives to Comply with IEEE-519 Harmonic Limits", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 35, No. 2, March/April, pp.312-318, 1999.
- [4] James K. Phipps, John P. Nelson, Pankaj K. Sen, "Power Quality and Harmonic Distortion on Distribution Systems", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 30, No. 2, March/April, pp. 476-484, 1994
- [5] 고조파 저감기술 조사전문위원회, "고조파 저감기술 현황과 전망", 기술조사보고, 1993.
- [6] Wilson E. Kazibwe, Musoke H. Sendaula, "Electric Power Quality Control Techniques", Van Nostrand Reinhold
- [7] Electrotek, "SuperHarm User's Guide", 1998.
- [8] Electrotek, "TCP User's Guide", 1995.
- [9] IEEE Task Force on Harmonics Modeling and Simulation, "Test Systems for Harmonics Modeling and Simulation", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 14, No. 2, pp 579-583, 1999.

### ◇ 저자소개 ◇

이 중 포 (李鍾洵)  
 1999년 성균관대학교 전기공학과 학사. 1999년 2월~현재, 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 석사과정.

김 철 환 (金錫煥)  
 1982년 성균관대학교 전기공학과 학사. 1984년 성균관대학교 전기공학과 석사. 1990년 성균관대학교 전기공학과 박사. 1992년 3월~현재, 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수.