전력시스템 고조파 모델링에 관한 연구

왕용필*, 정형환*, 한형주**, 곽노홍***, 전영수***, 박상호***, 김경철§
*동아대학교, **한국전기연구원, ***한국전력연구원 §홍익대학교

Harmonic Modelling for Power Systems

Y. P. Wang*, H. H. Chong*, H. H. Han**, N. H. Kwak***, Y. S, Jeon***, S. H. Park***, K. C. Kim
*Dong-A University, **KERI, ***KEPCO, §Hong-Ik University

Abstract - Recently, due to increasing the application of power electronic equipment, harmonics generated from the non-liner load are fairly produced. Harmonics can cause a variety of problems such as the overheating of distribution transformer, the breakdown of device and communication interference. Interest about power quality decline of power system is very increased.

In this paper, we are measured the harmonic voltage and current of power system to analyze harmonic characteristics, and it is analyzed Total Harmonic Distortion(THD). Also, we are modeled power system using PSCAD/EMTDC. And it is analyzed harmonic voltage and current in steady-state. The study results have been indicated the utility about harmonics analysis and modelling for power system.

1. 서 론

최근 전력 전자 응용 기기의 사용증가로 비선형 특성 부하에 의한 고조파가 상당히 발생하고 있으며, 이에 의한 영향으로 전력시스템의 변압기 열화, 소자의 고장, 통신 간섭 등의 여러 가지 문제를 발생시키고 있다. 따라서 전력시스템에서의 고조파 수준과 전달특성을 효과적으로 분석할 방법이 필요하다. 그러나 대규모 배전시스템에서 모든 시스템에 대한 고조파 전압, 전류 성분을 파악하기 위해서 전체 시스템을 측정하기는 불가능하고 또한 측정 장비 수량의 제한으로 인해 보다 효과적인 방법이 필요하다.

본 논문에서는 전력시스템의 고조파 특성을 분석하기위해 전력시스템의 고조파 전압, 전류를 측정하여 고조파 수준과 비선형 부하 성분을 파악하였고, 고조파 전압,전류 종합 왜형률(Voltage/Current Total Harmonic Distortion :VTHD/ITHD)를 분석하였다. 또한 PSCAD/EMTDC를 이용하여 전력시스템을 등가 시스템화하여, 고조파 전압, 전류, 고조파 임피던스를 비교, 분석하였다. 이상의 결과에서 전력시스템의 고조파 분석 및 모델링에 대한 유용성을 입증하고자 한다.

2. 고조파 이론

2.1 고조파 개념

일반적으로 고주파(高周波, High Frequency)는 전력관계에서는 상용 주파수보다 높은 주파수, 예를들면 수백 Hz 이상인 주파수를 말하며, 고조파(高調波, Harmonics)란 일본의 경우에는 JISG 8106에서 " 주기적 복합파의 각 성분 중 기본파 이외의 모든 것이라 하며, 2고조파는 기본하의 2배의 주파수를 말한다." 라고 정의하고 있으며, IEEE Std 519-1992 에는 "A sinusoidal component of a periodic wave or quantity having a frequency that is an integral multiple of the fundamental frequency." 로서 정의되고 있다. 즉 비정현파는 정현파 공급전압과 같은 주파수 성분을 갖는 기본파 성분과 그 정수 배의 주파수 성분이 합성된 것으로서, 기본파에 대해 정수 배의 주파수 성분이 합성된 것을 총칭하여 고조파라 칭하고 있는 것이다.

2.2 왜형률과 고조파 함유율

왜형파의 질(質)을 나타내는 수치로는 통상 종합 전압왜형률 및 고조파 함유율로 나타낼 수 있으며, 종합 전압왜형률은 기본파 성분 실효치에 대한 전체 고조파 성분 실효치의 비율로

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100(\%), \qquad n \geq 2 \tag{1}$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \times 100(\%), \qquad n \geq 2 \tag{2}$$

여기서, V_n, I_n : 제 n차 고조파 전압, 전류의 실효치
V_1, I_1 : 기본파 전압의 실효치

고조파 함유율은 어떤 차수의 고조파 성분 실효치와 기본파 성분 실효치에 대한 비율로

$$\frac{V_n}{V_1} \times 100(\%) \tag{3}$$

$$\frac{I_n}{I_1} \times 100(\%) \tag{4}$$

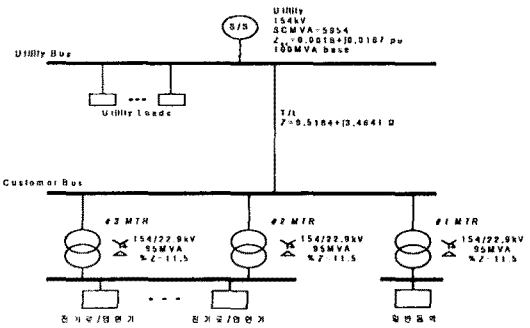
로 나타낼 수 있다.

여기서, V_n, I_n : 제 n차 고조파 전압, 전류의 실효치
V_1, I_1 : 기본파 전압의 실효치

3. 고조파 측정

3.1 사례 연구 시스템

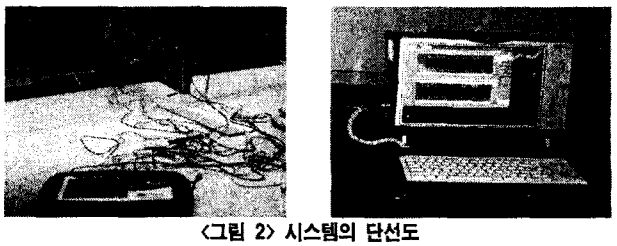
그림 1은 사례 연구 수용가의 단선도이다. 변전소는 공급전압이 154[kV], 단락용량이 5954[MVA], 단락 임피던스는 100[MVA] 기준으로 0.0018 +j0.0167[pu]이다. 송전선로는 선로 임피던스가 0.5184+j3.4641[Ω]이다. 수용가는 동력 부하용 (#1 MTR) 95MVA, 전기로/압연기용 (#2 MTR, #3 MTR) 95MVA×2, 3대의 주 변압기가 있다. 각 변압기는 154/22.9[kV], 임피던스 11.5[%]이다.



<그림 1> 시스템의 단선도

3.2 고조파 측정 장비

고조파 측정과 평가는 전력회사와 수용가가 만나는 점, 즉 공통결합점에서 이루어지는데, 사례연구 수용가의 모선이 된다. 고조파는 시간에 따라 변하므로 IEC 61000-4-7에 따라 측정시간을 순시치(snapshot)와 3초(vary short time)으로 한다. 고조파 측정 장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5, 3초 측정용으로 PNA-2010 장비가 사용되었다. BMI-PX5는 윈도우 크기가 12사이클로 측정하고, PNA-2010은 12사이클 측정에 36사이클 간격, 즉 0.8초에 한번씩 측정한다.



<그림 2> 시스템의 단선도

3.3 고조파 측정 결과

그림 1에서 #1 MTR, #2 MTR, #3 MTR의 부하용량은 표 1과 같다. 또한 표 2과 같은 고조파 전류가 입력되었다

<표 1> #1 MTR, #2 MTR, #3 MTR의 부하용량

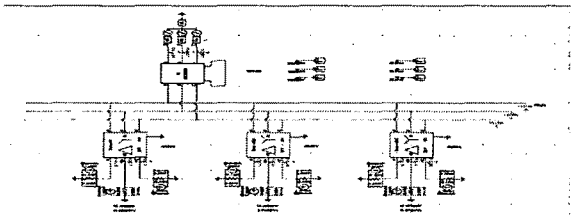
	#1 MTR(kW)	#2 MTR(kW)	#3 MTR(kW)
유효전력	45970	33860	51770
무효전력	13970	8603	18660

<표 2> #1 MTR고조파 전류 왜형률과 위상각

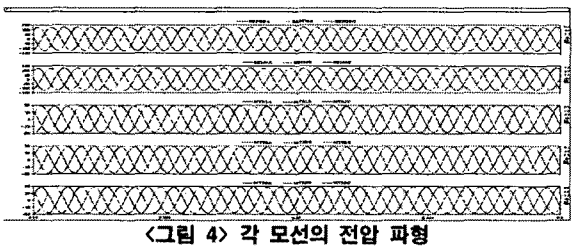
차수	A상		B상		C상	
	THD(%)	Phase(°)	THD(%)	Phase(°)	THD(%)	Phase(°)
2	.	.	0.2	-135	0.2	104
3	0.5	-58	0.4	-155	0.5	76
5	0.6	96	0.7	-129	0.6	-3
7	0.1	-133	0.1	43	.	.
9	0.1	-70	.	.	.	.
11	0.2	-152	0.3	21	0.2	139
12			0.1	-77	0.1	86
43	0.2	-68	.	.	.	.
44	.	.	.	.	.	.
45	0.1	-35	.	.	.	.
50	0.1	-133	.	.	.	.
FUND	1.184 kA rms		1.179 kA rms		1.186 kA rms	

4. 시뮬레이션 및 고찰

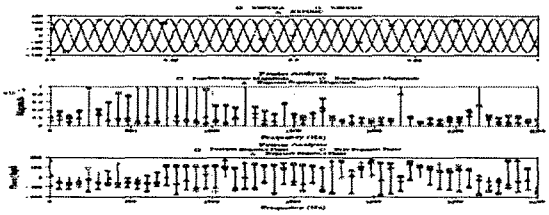
PSCAD/EMTDC를 이용하여 세아베스틸을 그림 3와 같이 모델링 하였다. KEPCO모선, 세아베스틸 154kV모선, #1 MTR, #2 MTR, #3 MTR 모선으로 구성하였다. 그림 4는 각 모선에 대한 전압파형을 나타내었고, 그림 5-7은 각 모선의 고조파 스펙트럼을 나타내었다.



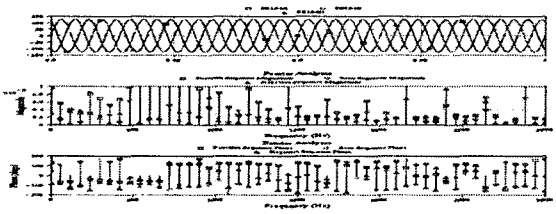
<그림 3> PSCAD/EMTDC을 이용한 모델링 2



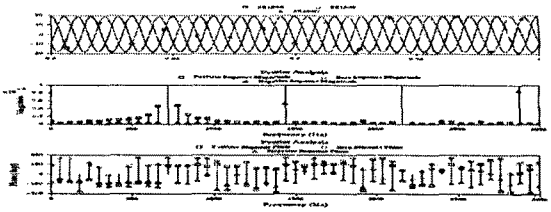
<그림 4> 각 모선의 전압 파형



<그림 5> KEPCO 모선 고조파 스펙트럼

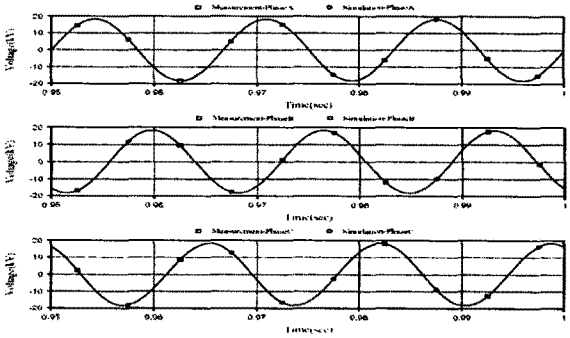


<그림 6> SE154 모선 고조파 스펙트럼

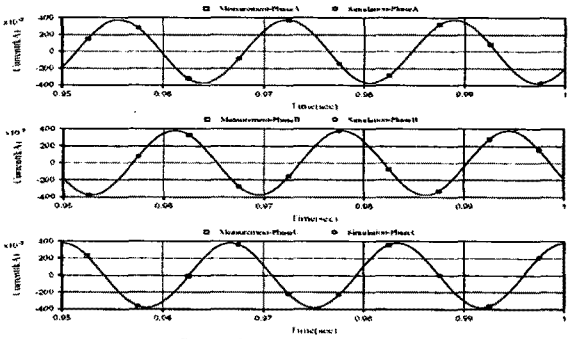


<그림 7> #1 MTR 고조파 스펙트럼

측정 전압 및 시뮬레이션 전압을 비교 하여 그림 8, 9에 나타내었다. 전압, 전류파형 분석 결과 모델링한 전력시스템이 실제 시스템과 유사하게 모델링 됐었음을 확인하였다.



<그림 8> 측정 전압과 시뮬레이션 전압 비교



<그림 9> 측정 전류와 시뮬레이션 전류 비교

5. 결 론

본 논문에서는 전력시스템에서의 고조파 분석을 위해 PSCAD/EMTDC를 이용하여 발전기, 변압기, 전송선로, 부하를 모델링하였으며, 정상 상태와 고조파 전류원 주입시에 전압, 전류파형을 측정, 분석하였다.

1. 정상 상태에서의 전압, 전류파형 분석 결과 모델링한 전력시스템이 실제 시스템과 유사하게 모델링 됐었음을 확인하였다.
2. 고조파 전류원 발생시에 각 상별 고조파 성분을 분석하여 각 차수 별 고조파량을 파악하였다.
3. 모델링된 전력시스템과 실제 전력시스템의 고조파 성분의 전달 특성이 유사함을 확인하였다.

본 논문에서 PSCAD/EMTDC를 이용한 전력시스템의 모델링은 전력시스템의 고조파 분석에 매우 유용함을 나타내었다.

[참 고 문 헌]

[1] IEC 61000-4-7, "General Guide on Harmonics and Inter-harmonics Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems", 1991.

[2] BMI-PX5, "Basic Measuring Instrument PowerXplorer", Dranetz Co., 2004.

[3] PNA-2010, "Power Network Analyzer", Chauvin Arnoux Co., 2004.

[4] IEC 61000-3-6, "Assessment of Emissions Limits for Distorting Loads in MV or HV Power Systems", 1996.

[5] IEEE Std. 519-1992, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems".

[6] "PSCAD/EMTDC Power System Simulation Software Manual", Monitoba HVDC Research Centre, 1996