

시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구

(A Study on the Time-varying Harmonics Measurement, Assessment and Simulation of the Electric Arc Furnace Loads)

김경철* · 진성은 · 이주홍 · 전영수

(Kyung-Chul Kim · Seong-Eun Jin · Joo-Hong Lee · Young-Soo Jeon)

요 약

규모가 큰 제철소는 전기로와 같은 비선형 부하를 가지고 있다. 고조파 측정 결과로 고조파는 시간에 따라 변하는 특성이 관측되었다. 순시치 측정에 의한 고조파 평가는 측정 순간에 따라 고조파가 다를 수 있으므로 모호한 결과를 초래할 수 있다. 시간에 따라 변하는 고조파를 해결하기 위해 쓰이는 가장 보편적인 방법은 누적확률을 사용하는 것이다. 고조파 시뮬레이션은 사례연구 시스템의 전압 및 전류 왜곡을 평가하기 위해 이용되었다. 본 논문에서는 전기로 부하의 고조파 현장 측정, 국제 고조파 관리 기준인 IEC 61000-3-6과 IEEE Std. 519에 의한 고조파 평가, 시간에 따라 변하는 고조파의 시뮬레이션을 심도 있게 다루고자 한다. 고조파 해석 프로그램인 EDSA는 사례 연구에 시뮬레이션 도구로 사용되었다.

Abstract

Large steel industries have nonlinear loads such as electric arc furnaces. Harmonic field measurements have shown that the harmonic contents of a waveform varies with time. Direct application of the harmonic assessment to the snapshot measurements would result in ambiguous conclusions depending on which instant is sampled. A cumulative probabilistic approach is the most commonly used method to solve time-varying harmonics. Harmonic simulations are performed to evaluate the harmonic voltage and current distortions throughout the system. This paper provides an in depth analysis on harmonics field measurement of the electric arc furnace loads, harmonics assessment by the international harmonic standards IEC 61000-3-6 and IEEE Std. 519 and harmonic simulation for the time-varying harmonics. The EDSA program was used as a simulation tool for the case study.

Key Words : Electric arc furnace, Harmonics measurement, Harmonics assessment, Harmonic simulation, IEC 61000-3-6, IEEE Std. 519

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수

Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605, E-mail : yangjier@hongik.ac.kr

접수일자 : 2005년 11월 30일, 1차심사 : 2005년 12월 5일, 심사완료 : 2005년 12월 26일

시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구

1. 서론

제철소는 전기로를 포함한 비선형 부하가 주 전기 설비이기 때문에 근본적으로 고조파 전류 발생원이라 할 수 있다. 또한 전기로의 특성상 부하가 급격하게 변하므로 고조파는 시간에 따라 변하고, 흡수차 고조파뿐만 아니라 작수차 고조파도 많이 포함하고 있다[1].

고조파원에 대한 정확하고 신뢰성 있는 측정과 평가는 전력 시스템의 고장과 오동작 등을 예방할 수 있게 할 뿐만 아니라, 공통결합점(PCC, the Point of Common Coupling)에서 수용가와 전력회사의 역할과 책임을 분담하게 한다. 수용가는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전력 시스템의 전력 품질이 일정 수준 이상 유지되어야 하고, 전력 회사는 공통결합점에서의 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 유지시켜야 한다.

본 논문에서는 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고, 국제 기준에 의거하여 평가하고, 시뮬레이션으로 고조파 전류와 전압을 예측하고자 한다.

2. 고조파 측정

2.1 사례연구 시스템

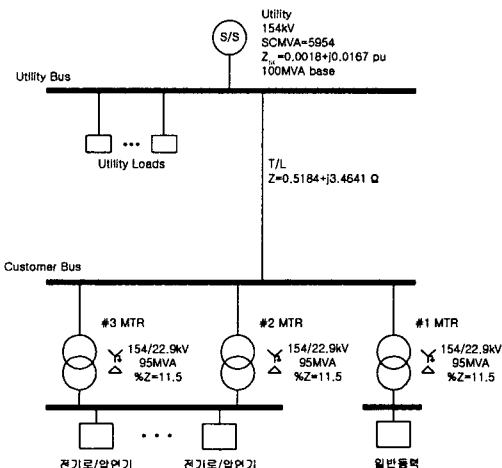


그림 1. 사례연구 시스템의 단선도
Fig. 1. One-line diagram of the case study system

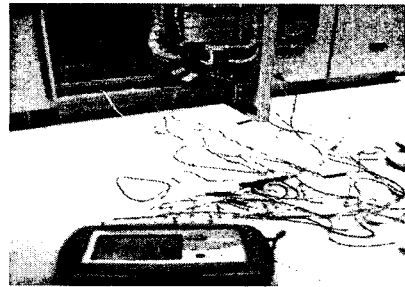
그림 1은 사례 연구 수용가의 단선도이다. 변전소는 공급전압이 154[kV], 단락용량이 5954[MVA], 단락 임피던스는 100[MVA] 기준으로 0.0018 +j0.0167[pu]이다.

송전선로는 선로 임피던스가 0.5184+j3.4641[Ω]이다.

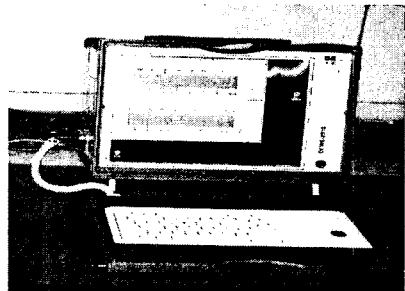
수용가는 동력 부하용(#1 MTR) 95MVA, 전기로/압연기용(#2 MTR, #3 MTR) 95MVA×2, 3대의 주 변압기가 있다. 각 변압기는 154/22.9[kV], 임피던스 11.5[%]이다.

2.2 고조파 측정 장비

고조파 측정과 평가는 전력회사와 수용가가 만나는 점, 즉 공통결합점에서 이루어지는데, 사례연구 수용가의 모선이 된다.



(a) BMI-PX5



(b) PNA-2010

그림 2. 측정 장비
Fig. 2. Measuring equipment

고조파는 시간에 따라 변하므로 IEC 61000-4-7[2]에 따라 측정시간을 순시치(snapshot)와 3초(vary short time)으로 한다.

고조파 측정 장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5[3], 3초 측정용으로 PNA-2010[4] 장비가 사용되었다. BMI-PX5는 윈도우 크기가 12사이클로 측정하고, PNA-2010은 12사이클 측정에 36사이클 간격, 즉 0.8초에 한번씩 측정한다.

2.3 순시치 측정

BMI-PX5 장비로 측정한 데이터를 요약하면 표 1과 같다.

표 1. BMI-PX5에 의한 측정된 데이터
Table 1. Measured data by BMI-PX5

	A 상	B 상	C 상
전압[kV]	158.13	158.67	157.63
전류[A]	486.88	488.74	488.13
피상전력[kVA]	43391	43776	43154
역률[%]	94	94	94
전압왜형률[%]	0.541	0.506	0.516
전류왜형률[%]	1.941	1.853	1.319

그림 3은 BMI-PX5로 측정된 전압과 전류 파형으로 편의상 A상만 나타낸다.

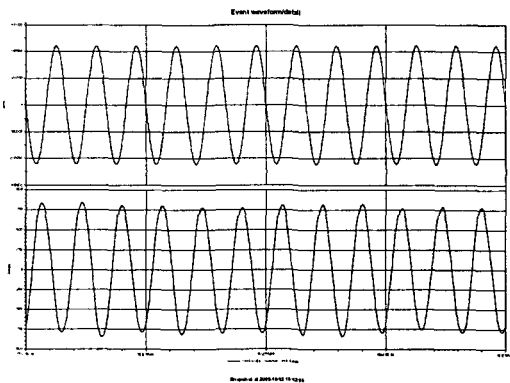


그림 3. 측정된 A상의 전압 및 전류 파형
Fig. 3. Measured voltage and current waveforms of phase A

표 2는 각 차수별 고조파 전류 함유율과 위상각을 간추려 놓은 것이다. 고조파 발생원으로 전류원을 주로 쓰고 있다.

표 2. 고조파 전류왜형률과 위상각
Table 2. Harmonic current THDs and phase angles

차수	A 상		B 상		C 상	
	THD(%)	phase(°)	THD(%)	phase(°)	THD(%)	phase(°)
2	0.394	298.69	0.419	75.46	0.284	195.21
3	1.409	150.41	1.169	340.61	0.344	285.7
4	0.063	305.89	0.253	32.43	0.256	200.26
5	1.156	309.38	1.153	72.64	1.106	194.55
6	0.272	220.56	0.044	79.99	0.228	33.96
7	0.394	173.91	0.663	27.48	0.394	240.26
8	0.053	132.66	0.044	3.09	0.041	276.04
9	0.113	151.11	0.053	12.18	0.075	306.39
10	0.038	83.74	0.05	215.1	0.041	347.55
11	0.059	49.83	0.075	206.94	0.038	351.31
12	0.038	339.73	0.013	6.49	0.047	170.98
13	0.059	266.93	0.109	134.55	0.078	350.3
14	0.019	259.3	0.009	59.74	0.009	63.2
15	0.019	261.2	0.009	77.04	0.003	95.69
16	0.013	205.94	0.025	11.36	0.009	186.64
17	0.013	233.23	0.025	352.35	0.022	133.64
18	0.009	150.36	0.009	10.69	0.003	265.28
19	0.019	152.2	0.025	4.19	0.013	246.86
20	0.003	85.43	0	352.84	0.009	251.94
21	0.003	293.29	0.003	18.53	0.009	158.99
22	0.003	245.13	0.003	74.91	0	315.95
23	0.003	24.9	0.009	114.65	0.009	262.9
24	0.003	237.5	0.003	38.66	0	241.18
25	0	228.34	0.009	83.44	0.003	305.57
~						
50	0.0	268.4	0.0	25.55	0.0	201.96

2.4 3초 측정

고조파가 시간에 따라 매우 빠르게 변하는 경우는 3초 측정을 권하고 있다. 3초 측정은 전기 설비의 순간 영향이나 오동작을 일으키는 원인을 파악하는데 유용하게 쓰이고 있다.

PNA-2010 장비로 24시간 동안 측정된 데이터를 요약하면 표 3과 같다.

시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구

표 3. PNA-2010에 의한 측정된 데이터
Table 3. Measured data by PNA-2010

	A 상 (mean)	B 상 (mean)	C 상 (mean)
전압[kV]	157.9	158.5	158.0
전류[A]	447.0	450.0	444.0
피상전력[kVA]	40751.3	41180.7	40503.4
역률[%]	92.1	92.3	92.6
전압왜형률[%]	1.06	1.03	1.1
전류왜형률[%]	8.02	7.82	7.97

그림 4는 PNA-2010으로 24시간 동안 측정된 전압의 실효값과 왜형률(THD, Total Harmonic Distortion)로 편의상 A상만 나타낸다.

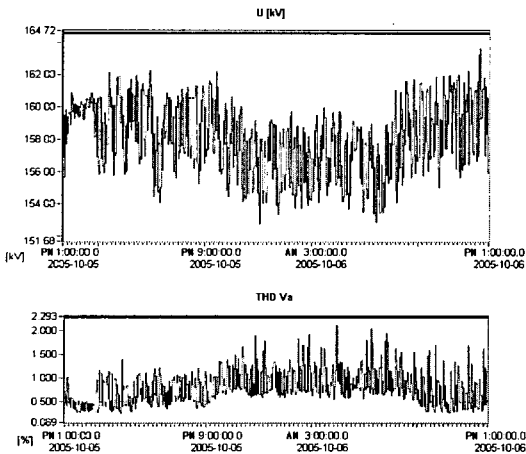


그림 4. 하루 동안 측정된 A상의 전압 실효값과 왜형률의 시간경향
Fig. 4. Measured voltage magnitude and THD time trends of phase A during one day

그림 5는 PNA-2010으로 24시간 동안 측정된 전류의 실효값과 왜형률로 편의상 A상만 나타낸다.

그림 4와 5에서 알 수 있듯이, 전압 왜형률과 전류 왜형률은 시간에 따라 변하는 특성을 가지고 있다. 이와 같이 시간에 따라 변하는 고조파를 평가하기 위해서는 누적확률(CP, Cumulative Probability)을 사용한다. 95[%] 누적확률 값이 측정기간 동안의 대표값으로 간주 된다[5-6].

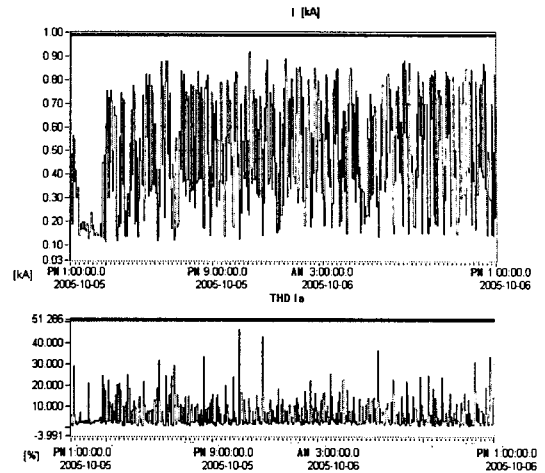
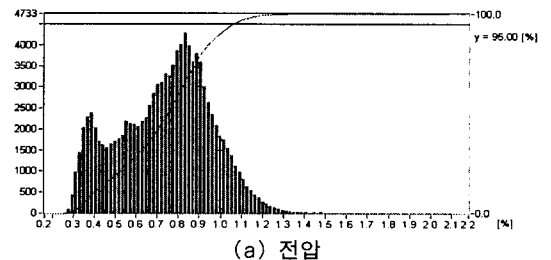
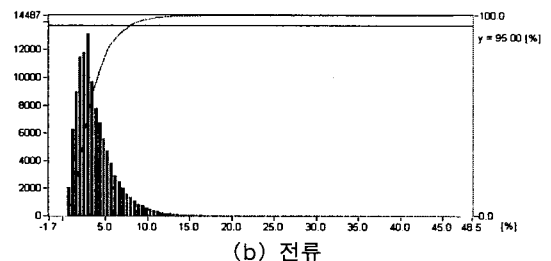


그림 5. 하루 동안 측정된 A상의 전류 실효값과 왜형률의 시간경향
Fig. 5. Measured current magnitude and THD time trends of phase A during one day

그림 6은 PNA-2010 장비로 하루 동안 측정한 누적확률 분포도이고, 편의상 A상만 나타낸다.



(a) 전압



(b) 전류

그림 6. 하루 동안 측정된 전압 및 전류 왜형률의 누적 분포
Fig. 6. Measured voltage and current THD cumulative probability distribution during one day

3. 고조파 평가

고조파 평가의 원칙은 전력회사와 수용가가 역할과 책임을 분담하는데 있다.

고조파 전압 평가는 IEC 61000-3-6[7]을 적용한다. 계획 레벨(Planning level)은 전력회사가 채택하는 값이고, 부하 유출 제한치를 결정하는데 사용한다.

표 4는 고조파 전압 평가를 간추려 놓은 것이다.

표 4. 고조파 전압 평가
Table 4. Harmonic voltage evaluation

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	A 상		B 상		C 상	
		snap-shot	95[%] CP	snap-shot	95[%] CP	snap-shot	95[%] CP
		2	1.5	0.013	0.262	0.022	0.269
3	2	0.231	0.356	0.238	0.41	0.088	0.304
4	1	0.006	0.155	0.028	0.164	0.022	0.169
5	2	0.413	0.917	0.369	0.87	0.444	0.956
6	0.5	0.016	0.096	0.016	0.101	0.034	0.107
7	2	0.163	0.286	0.15	0.286	0.066	0.29
8	0.4	0.013	0.167	0.028	0.171	0.022	0.191
9	1	0.081	0.188	0.078	0.191	0.113	0.195
10	0.4	0.028	0.083	0.034	0.08	0.006	0.08
11	1.5	0.144	0.029	0.156	0.245	0.175	0.278
12	0.2	0	0.03	0	0.029	0	0.027
13	1.5	0.047	0.094	0.025	0.103	0.05	0.113
14	0.2	0.003	0.012	0	0.012	0	0.012
15	0.3	0.038	0.046	0.016	0.032	0.034	0.034
16	0.2	0	0.012	0	0.013	0	0.012
17	1.0	0.013	0.033	0.025	0.033	0.038	0.031
18	0.2	0	0.012	0	0.013	0	0.013
19	1.0	0.003	0.025	0.006	0.028	0.013	0.029
20	0.2	0	0.011	0	0.012	0	0.012
21	0.2	0.013	0.027	0.006	0.019	0.003	0.017
~							
50	0.2	0.0	0.004	0.0	0.004	0.0	0.004
THDv[%]	3.0	0.541	1.06	0.506	1.03	0.516	1.10

고조파 전압 평가 결과는 IEC 61000-3-6 계획 레벨 이하였다. 하지만 순시치 측정에 의한 결과는 전압 왜형률이 약 0.521[%]이었고, 3초 측정에 의한 결과는 약 1.063[%]으로 차이가 많이 나고 있다. 즉 순시치에 의한 전압 평가는 측정 순간에 따라 값이 차이가 많이 나므로 오류를 범하기 쉽다.

고조파 전류 평가는 IEEE Std. 519[8]을 적용한다. 기준을 적용하려면 단락비(SCR, Short Circuit Ratio)를 구해야 한다.

단락전류,

$$I_{sc} = \frac{5954MVA}{\sqrt{3} \times 154kV} = 22322 \text{ A}$$

1년 평균 전력 : 94525[kW]

1년 평균 역률 : 97[%]

부하전류,

$$I_L = \frac{94525kW / 0.97}{\sqrt{3} \times 154kV} = 365.3 \text{ A}$$

단락비,

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} = 61.1$$

여기서 I_L 은 수용가의 연간 평균 최대 전류여야 하지만, 연간 평균 전력만 구할 수 있어 대신 사용하여 구하였다. IEEE Std. 519에서는 종합 왜형률(TDD, Total Demand Distortion)로 평가하는데, 본 논문에서는 TDD 대신에 THD로 평가하여 다소의 차이는 발생할 수 있다. 즉 TDD는 최대 부하전류를 이용하고, THD는 측정 시 기본과 부하전류를 이용하기 때문에 약간의 차이는 있으나 사례연구 수용가의 경우는 부하가 연중 비슷하여 큰 차이는 없다.

표 5는 고조파 전류 평가를 간추려 놓은 것이다.

고조파 전류 평가 결과는 IEEE Std. 519 제한치(6.0[%])보다 순시치 측정에 의한 결과는 약 1.704[%]로 작지만, 3초 측정에 의한 결과는 약 7.94[%]로 기준치를 초과하였다. 특히 짝수 차 고조파는 기준치(1.5[%])보다 많이 초과(약 6.21[%])한다. 사례연구 수용가는 짝수차 고조파 필터를 보강할 필요가 있다.

시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구

표 5. 고조파 전류 평가
Table 5. Harmonic current evaluation

차 수	IEEE 519 limits	A 상		B 상		C 상	
		snapshot	95[%]CP	snapshot	95[%]CP	snapshot	95[%]CP
3	5.00	1.409	4.124	1.189	4.01	0.344	4.005
5	5.00	1.156	2.519	1.153	2.204	1.106	2.531
7	5.00	0.394	1.001	0.663	0.913	0.394	0.961
9	5.00	0.113	0.563	0.053	0.54	0.075	0.572
11	2.25	0.059	0.549	0.075	0.504	0.038	0.574
13	2.25	0.059	0.319	0.109	0.341	0.078	0.353
15	2.25	0.019	0.215	0.009	0.209	0.003	0.219
17	2.00	0.013	0.182	0.025	0.181	0.022	0.195
19	2.00	0.019	0.15	0.025	0.15	0.013	0.154
21	2.00	0.003	0.125	0.003	0.123	0.009	0.128
~							
49	0.35	0.0	0.087	0.0	0.065	0.0	0.149
TDD(%)	6.0	1.941	8.03*	1.853	7.82*	1.319	7.97*
TDDeven(%)	1.5	0.430	6.34*	0.496	6.07*	0.451	6.23*

주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

4. 고조파 시뮬레이션

고조파 시뮬레이션은 고조파 문제를 파악하고 분석하는데 중요한 역할을 한다. 커패시터 뱅크를 설치하고자 할 때, 고조파 발생장비를 설치하고자 할 때, 고조파 필터를 설치하고자 할 때 등 고조파 시뮬레이션은 여러 가지 조건 하에서 가능한 해결 방안과 유효성을 평가하는 수단으로 쓰인다.

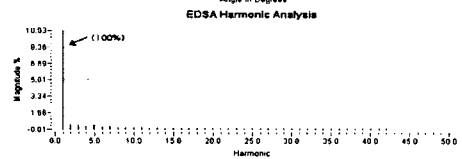
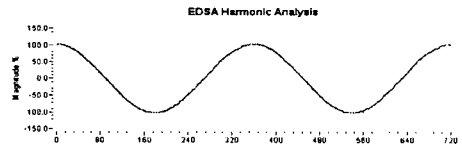
고조파 시뮬레이션은 상용화된 EDSA[9] 프로그램을 사용하였다. BMI-PX5 장비에 의한 순시치 측정은 고조파 전류의 크기와 위상의 데이터를 취득할 수 있지만, 시간에 따라 변하는 고조파를 대표하지는 못할 수 있다.

시간에 따라 변하는 고조파를 평가하는데는 대표성을 가진 95[%] 누적확률 값을 쓰고 있다. 하지만 누적확률 값은 고조파 전류와 전압의 크기만으로 표시되므로 고조파 모델링에 필요한 위상값은 알 수가 없다.

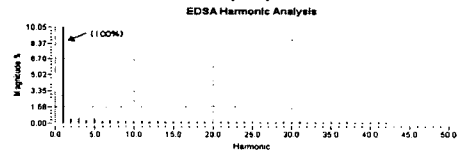
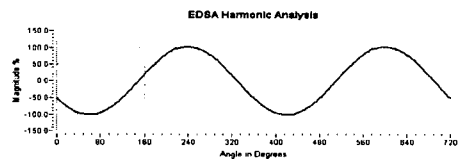
본 논문에서는 고조파 전류원으로 3초 측정에 의한 95[%] 누적확률 값의 크기와 순시치 측정에 의한

위상을 사용하여 고조파 시뮬레이션을 하여 측정된 값과 비교하고자 한다.

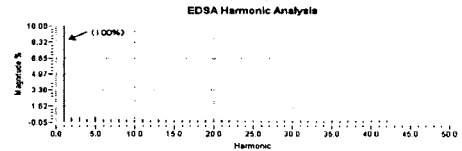
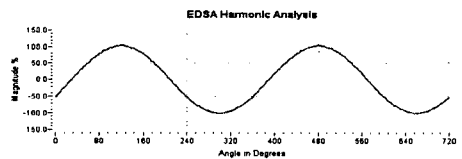
그림 7은 EDSA로 시뮬레이션 한 전압 파형과 히스토그램이고, 그림 8은 전류 파형과 히스토그램이다.



(a) A 상



(b) B 상



(c) C 상

그림 7. EDSA 시뮬레이션에 의한 전압 파형과 히스토그램

Fig. 7. Voltage waveforms and histograms by EDSA simulation

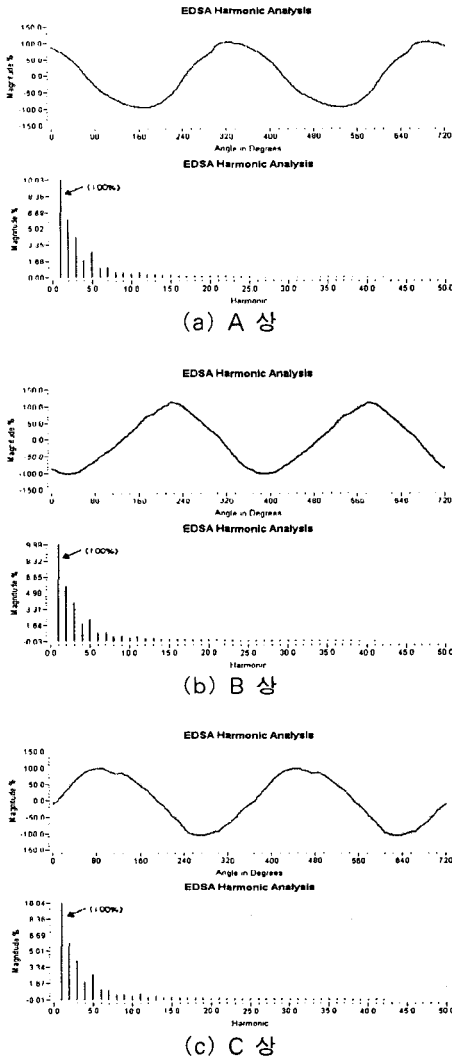


그림 8. EDSA 시뮬레이션에 의한 전류 파형과 히스토그램
 Fig. 8. Current waveforms and histograms by EDSA simulation

표 6은 3초 측정에 의한 95[%] 누적확률값과 EDSA로 시뮬레이션 한 고조파 전류값을 비교한 것이다.

고조파 전류원을 고조파 발생원으로 하였으므로 95[%] 누적확률값과 시뮬레이션한 고조파 전류값은 거의 오차가 없는 결과로 나타났다.

표 6. 고조파 전류 비교
 Table 6. Harmonic currents comparison

차수	A 상		B 상		C 상	
	95[%]CP	Simulated	95[%]CP	Simulated	95[%]CP	Simulated
2	5.93	5.93	5.676	5.68	5.802	5.8
3	4.124	4.12	4.01	4.01	4.005	4.01
4	1.825	1.83	1.767	1.77	1.825	1.83
5	2.519	2.52	2.204	2.2	2.531	2.53
6	0.954	0.95	0.903	0.9	0.998	1
7	1.001	1	0.913	0.91	0.961	0.96
8	0.576	0.58	0.545	0.55	0.553	0.55
9	0.563	0.56	0.54	0.54	0.572	0.57
10	0.427	0.43	0.411	0.41	0.406	0.41
11	0.549	0.55	0.504	0.5	0.574	0.57
12	0.297	0.3	0.295	0.3	0.313	0.31
13	0.319	0.32	0.341	0.34	0.353	0.35
14	0.238	0.24	0.228	0.23	0.24	0.24
15	0.215	0.22	0.209	0.21	0.219	0.22
16	0.188	0.19	0.181	0.18	0.188	0.19
17	0.182	0.18	0.181	0.18	0.195	0.2
18	0.151	0.15	0.149	0.15	0.157	0.16
19	0.15	0.15	0.15	0.15	0.154	0.15
20	0.135	0.14	0.13	0.13	0.136	0.14
21	0.125	0.13	0.123	0.12	0.128	0.13
~						
42	0.055	0.06	0.057	0.06	0.064	0.06
THDi (%)	8.02	8.09	7.82	7.72	7.97	7.95

표 7은 3초 측정에 의한 95[%] 누적확률값과 EDSA로 시뮬레이션 한 고조파 전압값을 비교한 것이다.

표 7의 결과에서 알 수 있듯이 전압 왜형률은 95[%] 누적확률값(약 1.06[%])과 시뮬레이션 한 값(약 1.12[%])과는 차이가 약간 나타났다. 특히 각 차수별은 고조파 전류와는 비교할 수 없을 정도로 차이가 나고 있다.

고조파 차수별까지 일치 하려면 많은 연구가 선행 되어야 한다고 판단된다. 먼저 고조파 발생원을 고조파 전류원으로 하는데서 오는 오차가 크다. 일반

시간에 따라 변하는 전기로 부하의 고조파 측정, 평가 및 시뮬레이션에 관한 연구

적으로 고조파 발생원은 전류와 전압의 혼합이라 할 수 있기 때문이다.

표 7. 고조파 전압 비교
Table 7. Harmonic voltages comparison

차수	A 상		B 상		C 상	
	95[%]CP	Simulated	95[%]CP	Simulated	95[%]CP	Simulated
2	0.262	0.45	0.269	0.43	0.282	0.43
3	0.356	0.46	0.41	0.45	0.304	0.45
4	0.155	0.27	0.164	0.27	0.169	0.27
5	0.917	0.47	0.87	0.42	0.956	0.47
6	0.096	0.21	0.101	0.2	0.107	0.22
7	0.286	0.26	0.286	0.24	0.29	0.25
8	0.167	0.17	0.171	0.16	0.191	0.16
9	0.188	0.19	0.191	0.18	0.195	0.19
10	0.083	0.16	0.08	0.15	0.08	0.15
11	0.029	0.23	0.245	0.21	0.278	0.23
12	0.03	0.13	0.029	0.13	0.027	0.14
13	0.094	0.16	0.103	0.17	0.113	0.17
14	0.012	0.12	0.012	0.12	0.012	0.12
15	0.046	0.12	0.032	0.12	0.034	0.12
16	0.012	0.11	0.013	0.11	0.012	0.11
17	0.033	0.12	0.033	0.12	0.031	0.12
18	0.012	0.1	0.013	0.1	0.013	0.1
19	0.025	0.11	0.028	0.11	0.029	0.11
20	0.011	0.1	0.012	0.1	0.012	0.1
21	0.027	0.1	0.019	0.1	0.017	0.1
~						
42	0.004	0.09	0.004	0.09	0.004	0.1
THDv ([%])	1.06	1.13	1.03	1.09	1.1	1.15

본 논문에서는 사례연구 수용가의 고조파 수준을 대표하는 95[%] 누적확률값을 사용하여 고조파 전류원으로부터 고조파 전압 왜형률을 예측하고자 하였다. 각 차수별 고조파 왜형률은 95[%] 누적확률값과 약간의 차이가 있었으나 종합 고조파 왜형률은 근사한 값으로 시뮬레이션 되었다.

5. 결 론

전기로 부하는 특성상 부하 변동이 시시각각 일어나므로 순시치 측정에 의한 고조파 분석과 평가는 오류를 범하기 쉽다. 시간에 따라 변하는 고조파를 평가하는데는 95[%] 누적 확률값으로 하면 통계자

료에 의한 대표값이 되어 올바른 평가가 된다고 할 수 있다.

순시치 측정에 의한 수용가 모선에서의 고조파 전압 왜형률은 약 0.521[%]이었고, 95[%] 누적 확률값은 약 1.063[%]로 IEC 61000-3-6 계획레벨인 3.0[%] 이하였다. 그러나 사례연구에서와 같이 순시치 측정에 의한 고조파 전압 평가는 오류를 범할 수 있음을 보여 주었다.

고조파 전류 왜형률은 순시치 측정 결과는 약 1.704[%]로 IEEE Std. 519 제한치(6.0[%])보다 작지만, 95[%] 누적확률값은 약 7.94[%]로 기준치를 초과하였다. 특히 짝수차 고조파는 기준치(1.5[%])보다 많이 초과(약 6.21[%])하므로, 사례연구 수용가는 짝수차 고조파 필터를 보강할 필요가 있다고 판단된다.

고조파 시뮬레이션은 고조파 문제를 파악하고 분석하는데 중요한 역할을 한다. 고조파 시뮬레이션은 고조파 발생원으로 고조파 전류원을 주로 쓰고 있다. 그러나 시간에 따라 변하는 고조파 에 적용되는 95[%] 누적확률값은 크기만 알 수 있다. 본 논문에서는 95[%] 누적확률값의 크기와 순시치 측정에서 얻어진 위상을 가지고 고조파 전류원을 모의하였다. 고조파 시뮬레이션 결과 고조파 전류 왜형률은 약 7.92[%]로 95[%] 누적확률값 약 7.94[%]와 거의 같았다. 각 고조파 차수별도 거의 유사한 결과가 도출되었다. 고조파 전압 왜형률은 95[%] 누적확률값은 약 1.06[%]이었고, 시뮬레이션 결과는 약 1.12[%]로 차이가 약간 있었다. 특히 각 차수별은 전류와는 달리 차이가 있어, 좀 더 많은 연구가 선행되어야 한다고 판단되었다.

향후 시간에 따라 변하는 고조파 부하의 고조파 시뮬레이션에 대한 연구를 지속적으로 할 계획이다.

본 연구는 전력산업 연구개발사업으로 수행되었음.

References

- [1] L. Nikoloski and G. Rafajlovski, "Power Quality Aspects of Arc Steel Melting Furnace", IEEE 10th Mediterranean Electrotechnical Conference, 2000.
- [2] IEC 61000-4-7, "General Guide on Harmonics and Inter-harmonics Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems", 1991.
- [3] BMI-PX5, "Basic Measuring Instrument PowerXplorer", Dranetz Co., 2004.
- [4] PNA-2010, "Power Network Analyzer", Chauvin Arnoux Co., 2004.
- [5] T. Ortmeyer and w. Xu, "Setting Limits on Time-Varying Harmonics", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2003.
- [6] M. Steurer, "Real Time Simulation for Advanced Time-Varying Harmonic Analysis", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005.
- [7] IEC 61000-3-6, "Assessment of Emissions Limits for Distorting Loads in MV or HV Power Systems", 1996.
- [8] IEEE Std. 519-1992, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems".
- [9] EDSA User's Guide, "Electrical Power System Harmonic Analysis Program", EDSA Micro Co. 2005.

◇ 저자소개 ◇

김경철 (金慶哲)

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1977~1982년 국방과학연구소연구원. 1982~1984년 NMSU 전기공학과 석사. 1984~1988년 UTA 전기공학과 박사. 1988~1991년 한국전기연구소 선임연구원. 1991년~현재 홍익대학교 전기공학과 교수.

진성은 (陳聖恩)

1980년 1월 8일생. 2005년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

이주홍 (李柱洪)

1978년 10월 23일생. 2005년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2005년~현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 석사과정.

전영수 (全榮洙)

1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대학교 전기공학과 졸업. 1987년 한국전력공사 입사. 1997년 충남대학교 산업대학원 전기공학과 석사. 1990년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.