

전해조 부하의 고조파 측정 및 평가에 관한 연구

(A Study on the Harmonics Measurement and Assessment of the Electrolyzer Loads)

김경철* · 이주홍 · 진성은 · 박상영 · 이일무 · 전영수

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

요 약

중화학 공업은 전해조를 포함한 비선형 부하를 가지고 있다. AC-DC 컨버터가 화학공장의 전해조에 널리 쓰이고 있고, 전해조는 DC에 연결된 구조이다. 컨버터는 고조파 전류를 발생시키고, 전력계통의 전압을 왜곡시킨다. 본 논문에서는 전해조 부하의 고조파 현장 측정과 국제 고조파 관리 기준인 IEC 61000-3-6과 IEEE 519-1992에 의한 고조파 평가를 심도있게 분석한다.

Abstract

Heavy chemical industries have nonlinear loads including electrolyzers. AC-DC converters are the most widely used in an electrolysis in a chemical plant. The electrolysis consists of AC-DC converter groups connected in parallel at the DC side. The converter operations cause harmonic currents and create distortions on the sinusoidal voltage of the AC power system. This paper provides an in depth analysis on harmonics field measurement for the electrolyzer loads and harmonics assessment by the international harmonic standards IEC 61000-3-6 and IEEE 519-1992.

Key Words : Electrolyzer, Harmonics measurement, Harmonics assessment, IEC 61000-4-7, IEC 61000-3-6, IEEE 519-1992, Cumulative probability

1. 서 론

전해조를 주 전기설비로 하는 화학공장은 AC-DC 컨버터를 쓰기 때문에 근본적으로 고조파 발생원이라 할 수 있다. 컨버터는 펄스 수에 따라 홀수차 고조파를 많이 발생시키지만, 푸리에 이론에 따라 짝

수차 고조파는 거의 없다[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.

* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수
Tel : 041-860-2568, Fax : 041-863-7605
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr
접수일자 : 2005년 11월 7일
1차심사 : 2005년 11월 14일
심사완료 : 2005년 11월 25일

전애포 부하의 고조파 측정 및 평가에 관한 연구

본 논문에서는 국제 기준에 의거하여 순시치 고조파 측정과 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고 평가하고자 한다.

2. 고조파 측정

2.1 사례연구 시스템

그림 1은 사례 연구 수용가의 단선도이다. 변전소는 공급전압이 22.9[kV], 단락용량이 299[MVA], 단락 임피던스는 100[MVA] 기준으로 $0.18 + j33.49[\%]$ 이다.

배전선로는 선로 임피던스가 $0.0499 + j0.1088[\Omega]$ 이고, 선로 어드미턴스는 $j0.1248 \times 10^{-3}[\text{S}]$ 이다.

수용가는 정류용 변압기(5.1[MVA], 4.4[MVA], 7.6[MVA]) 3대와 동력 부하용 변압기(2.3[MVA]) 1대가 있다.

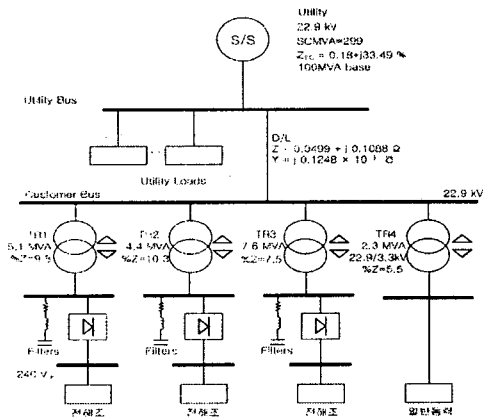


그림 1. 사례연구 시스템의 단선도
Fig. 1. One-line diagram of the system under study case

2.2 고조파 측정장비

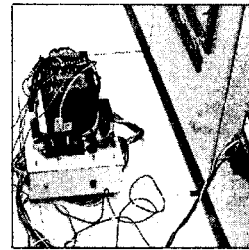
고조파 측정과 평가는 전력회사와 수용가가 만나는 점, 즉 공통결합점에서 이루어지는데, 사례연구 수용가의 모선이 된다.

고조파 측정은 국제기준인 IEC 61000-4-7[2]에 따라 측정시간을 순시치(snapshot), 10분(short time)으로 한다.

고조파 측정 장비는 순시치 측정용으로 BMI-PX5[3], 10분 측정용으로 PQM[4] 장비가 사용되었다. BMI-PX5는 윈도우 크기가 12사이클로 측정하고, PQM장비는 매 6초마다 6사이클 측정하여 10분에 100개의 데이터 중에서 최소, 평균, 최대 등 대표값들을 저장한다.



(a) BMI-PX5



(b) PQM

그림 2. 측정 장비
Fig. 2. Measuring equipment

2.3 순시치 측정

BMI-PX5 장비로 측정된 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[kVrms]	22.78	22.92	22.83
전류[A rms]	266.7	269.6	268.5
전압왜형률[%]	2.25	2.21	2.28
전류왜형률[%]	9.25	9.54	9.16

그림 3은 BMI-PX5으로 측정된 전압과 전류 파형으로 편의상 A상만 나타낸다.

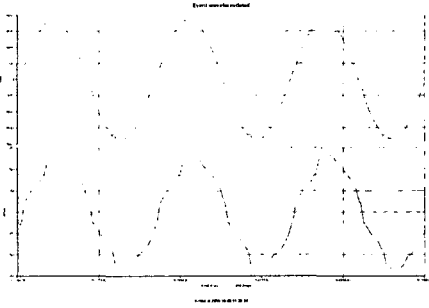


그림 3. 측정된 A상의 전압 및 전류 파형
Fig. 3. Measured voltage and current waveforms of phase A

2.4 10분 측정

고조파는 시간에 따라 변하므로 국제기준에서는 고조파 측정을 적어도 일주일을 권장하고 있다. 고조파가 시간에 따라 매우 빠르게 변하는 경우의 측정은 전기설비의 순간영향이나 오동작을 일으키는 원인을 파악하는데 유용하게 쓰이고, 고조파가 시간에 따라 다소 느리게 변하는 경우의 측정은 전기설비의 장기간 영향이나 소손 및 수명 감소의 원인을 추정하는데 쓰일 수 있다.

PQM 장비로 7일 동안 측정된 전압과 전류 중 일부를 요약한다. 그림 4는 첫째 날의 전압 실효치의 시간 경향이고, 그림 5는 첫째 날의 전류 실효치의 시간 경향이다.

그림 6과 7은 PQM 장비로 일주일 동안 측정된 전압과 전류 왜형률(THD, Total Harmonic Distortion)의 시간경향을 보여주고 있다. 편의상 A상만 나타낸다.

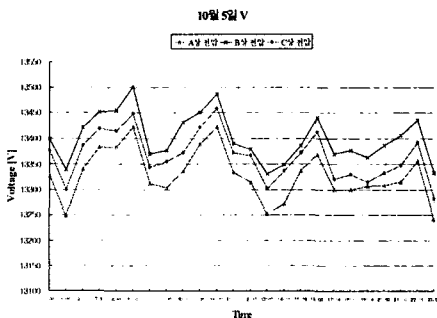


그림 4. 하루 동안 측정된 전압의 시간경향
Fig. 4. Measured voltage time trend during one day

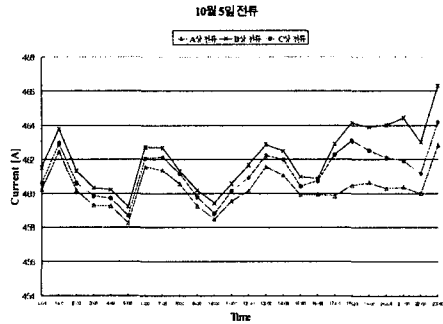


그림 5. 하루 동안 측정된 전류의 시간경향
Fig. 5. Measured current time trend during one day

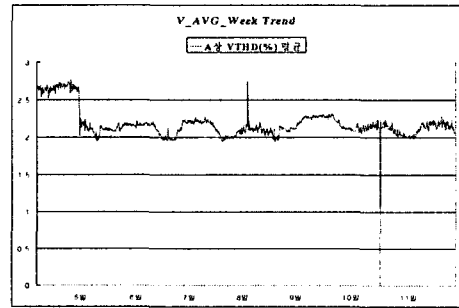


그림 6. 일주일 동안 측정된 전압 왜형률의 시간 경향
Fig. 6. Measured voltage THD time trend during one week

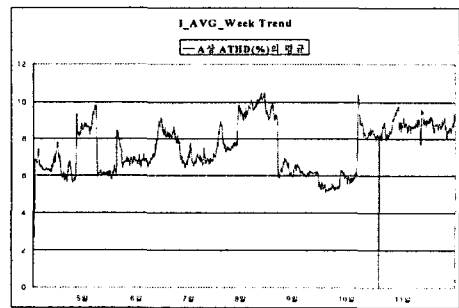


그림 7. 일주일 동안 측정된 전류 왜형률의 시간 경향
Fig. 7. Measured current THD time trend during one week

3. 고조파 평가

고조파 평가의 원칙은 전력회사와 수용가가 역할과 책임을 분담하는데 있다. 순시치 측정에 의한 고조파 평가와 시간에 따라 변하는 고조파 평가로 구

전해소 부하의 고조파 측정 및 평가에 관한 연구

분하고 비교 검토하고자 한다.

3.1 순시치 측정에 의한 고조파 평가

고조파 평가는 PCC에서의 전압과 전류를 기준과 비교해야 한다. 고조파 전압 평가는 IEC 61000-3-6[5]에 적용한다.

표 2는 고조파 전압 평가를 간추려 놓은 것이고, 그림 8은 표 2를 시각적으로 보여주기 위해 나타낸 것이다. 계획 레벨(planning level)은 전력회사가 채택하는 값이고, 부하 유출 제한치를 결정하는데 사용한다.

표 2. 고조파 전압 평가
Table 2. Harmonic voltage assessment

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	A 상	B 상	C 상
2	1.6	0.128	0.056	0.069
3	4.0	1.063	0.684	1.309
4	1.0	0.003	0.013	0.022
5	5.0	1.147	1.275	1.059
6	0.5	0.016	0.013	0.006
7	4.0	0.456	0.528	0.506
8	0.4	0.072	0.088	0.078
9	1.2	0.613	0.578	0.528
10	0.4	0.038	0.016	0.016
11	3.0	0.391	0.3	0.356
12	0.2	0.016	0.025	0.016
13	2.5	0.275	0.278	0.263
14	0.2	0.059	0.05	0.034
15	0.3	0.078	0.047	0.05
16	0.2	0.059	0.059	0.044
17	1.6	0.403	0.419	0.434
~				
50	0.2	0.094	0.038	0.05
THDv (%)	6.5	2.331	2.25	2.325

사례연구 수용가는 변전소로부터 단독 배전선로로 수전하고 있으나 전압 왜형률이 약 2.3[%]으로 다소 높게 관측되었다. 참고로 한전 규정은 전압 왜형률이 3.0[%] 이내로 하고 있다.

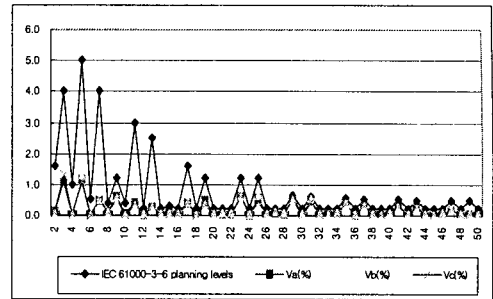


그림 8. 고조파 전압 평가
Fig. 8. Harmonic voltage assessment

고조파 전류 평가는 IEEE 519-1992[6]을 적용한다. 기준을 적용하려면 먼저 단락비(SCR, Short Circuit Ratio)를 구해야 한다.

단락전류,

$$I_{sc} = \frac{299 MVA}{\sqrt{3} \times 22.9 kV} = 7538.5 A$$

1년 평균 전력 : 17,620[kW]

1년 평균 역률 : 98[%]

부하전류,

$$I_L = \frac{17620 kW / 0.98}{\sqrt{3} \times 22.9 kV} = 453.3 A$$

단락비,

$$SCR = \frac{I_{sc}}{I_L} = 16.6$$

여기서 I_L 은 수용가의 연간 평균 최대 전류여야 하지만, 연간 평균 전력만 구할 수 있어 대신 사용하여 구하였다. IEEE 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 측정시 기본과 부하전류를 이용하기 때문에 약간의 차이는 있으나 사례연구 수용가의 경우는 부하가 연중 비슷하여 큰 차이는 없다.

표 3은 고조파 전류 평가를 간추려 놓은 것이고, 그림 9는 표 3을 그림으로 나타낸 것이다.

표 3. 고조파 전류 평가
Table 3. Harmonic current assessment

차수	IEEE 519 limits	A 상	B 상	C 상
3	4.0	1.488	1.047	1.431
5	4.0	8.172*	8.281*	8.053*
7	4.0	2.369	2.978	3.047
9	4.0	0.194	0.053	0.234
11	2.0	1.525	1.503	1.413
13	2.0	0.688	0.666	0.713
15	2.0	0.05	0.025	0.041
17	1.5	1.253	1.206	1.125
19	1.5	0.981	0.991	0.941
21	1.5	0.031	0.063	0.034
~				
49	0.3	0.059	0.069	0.025
TDD (%)	5.0	9.159*	9.372*	9.197*

주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

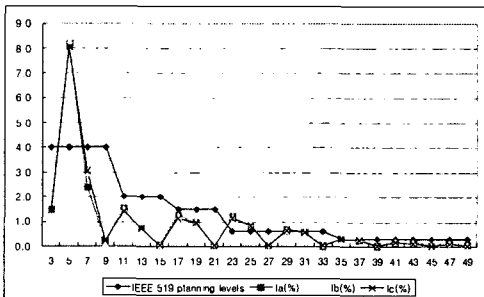


그림 9. 고조파 전류 평가
Fig. 9. Harmonic current assessment

고조파 평가 결과는 전류 왜형률이 IEEE 기준치(5%)를 초과(9.159[%], 9.372[%], 9.179[%])하고 있다. 특히 제5차 고조파가 기준치(4.0[%])보다 2배 이상(8.172[%], 8.281[%], 8.053[%]) 초과하므로 이에 대한 고조파 필터가 요구된다.

3.2 시간에 따라 변하는 고조파 평가

고조파는 시간에 따라 변하기 때문에 고조파의 순간 영향과 장기 영향을 평가하기 위해 IEC 61000-3-6에서 정한 기준을 요약하면 다음과 같다.
기준 1. 하루 동안 측정된 3차 측정값의 누적확률

95[%]가 계획 레벨을 넘지 않아야 한다.
기준 2. 일주일 동안 10분 측정값 중에 가장 큰 값이 계획 레벨을 넘지 않아야 한다.
기준 3. 일주일 동안의 3차 최대 측정값이 계획 레벨의 1.5배를 넘지 않아야 한다.

기준 1, 2, 3은 전압에 관해 IEC에서 정한 제한치이지만, 본 논문에서는 고조파 전압 평가를 위해 IEC 61000-3-6을, 고조파 전류 평가를 위해 IEEE 519-1992를 위의 기준에 적용하여 분석하고자 한다.

3.2.1 고조파 전압 평가

기준 1에 의한 고조파 전압 평가를 IEC 61000-3-6에 적용한다. 본 논문에서는 10분 측정값만 있으므로 하루동안 10분 측정값의 누적확률(CP, Cumulative Probability) 95[%]가 계획 레벨을 넘는지 평가한다.

그림 10은 PQM 장비를 하루 동안 측정된 누적확률 분포도이다. 편의상 일주일 중 하루 동안의 A상의 전압만 나타낸다.

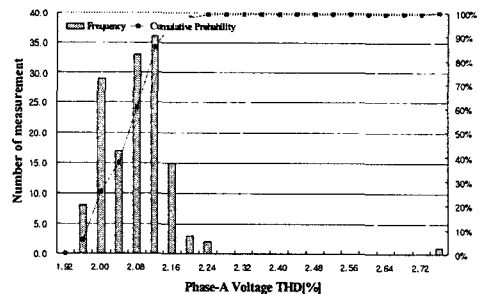


그림 10. 하루 동안 측정된 전압 왜형률의 누적분포
Fig. 10. Measured voltage THD cumulative probability distribution during one day

표 4는 기준 1에 의한 고조파 전압평가를 간추려 놓은 것이다.

기준 1에 의한 고조파 전압 평가는 전압왜형률이 약 2.52[%]으로 약간 높은 편(한전 기준 3[%])이었고, 특히 제5차 고조파가 약 1.5[%]으로 가장 큰 값을 나타내었다. PQM장비는 3, 5, ..., 21 차수의 홀수차 고조파만 나타낼 수 있어, 짝수차 고조파의 평가는 현재 할 수가 없었다.

전애포 부하의 고조파 측정 및 평가에 관한 연구

표 4-1. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가(A상)
Table 4-1. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1(phase A)

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	1월 95% CP	2월 95% CP	3월 95% CP	4월 95% CP	5월 95% CP	6월 95% CP	7월 95% CP
3	4.0	0.99	0.8	0.85	0.95	0.71	1.0	1.03
5	5.0	1.35	1.38	1.31	1.26	1.43	1.42	1.21
7	4.0	0.65	0.53	0.54	0.49	0.54	0.54	0.52
9	1.2	0.69	0.7	0.75	0.73	0.74	0.72	0.73
11	3.0	0.5	0.44	0.41	0.4	0.43	0.43	0.44
13	2.5	0.44	0.29	0.29	0.29	0.3	0.29	0.29
15	0.3	0.31	0.11	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11
17	1.6	0.62	0.41	0.42	0.41	0.42	0.42	0.41
19	1.2	0.64	0.42	0.47	0.44	0.43	0.41	0.42
21	0.2	0.29	0.1	0.09	0.08	0.07	0.07	0.08
THDV (%)	6.5	2.92	2.33	2.4	2.75	2.34	2.51	2.59

표 4-2. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가(B상)
Table 4-2. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1(phase B)

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	1월 95% CP	2월 95% CP	3월 95% CP	4월 95% CP	5월 95% CP	6월 95% CP	7월 95% CP
3	4.0	0.68	0.53	0.72	0.73	0.38	0.66	0.8
5	5.0	5.0	1.44	1.57	1.48	1.41	1.61	1.6
7	4.0	0.77	0.61	0.58	0.57	0.61	0.62	0.59
9	1.2	0.62	0.63	0.66	0.65	0.66	0.64	0.64
11	3.0	0.54	0.42	0.4	0.36	0.44	0.4	0.4
13	2.5	0.44	0.34	0.33	0.31	0.32	0.32	0.31
15	0.3	0.32	0.11	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11
17	1.6	0.63	0.47	0.46	0.46	0.51	0.48	0.45
19	1.2	0.65	0.38	0.42	0.37	0.41	0.38	0.38
21	0.2	0.3	0.11	0.11	0.1	0.09	0.09	0.1
THDV (%)	6.5	2.96	2.32	2.33	2.74	2.39	2.41	2.45

표 4-3. 기준 1에 의한 고조파 전압 평가(C상)
Table 4-3. Harmonic voltage evaluation by the assessment 1(phase C)

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	1월 95% CP	2월 95% CP	3월 95% CP	4월 95% CP	5월 95% CP	6월 95% CP	7월 95% CP
3	4.0	1.02	0.73	0.81	1.14	1.61	1.17	1.2
5	5.0	1.31	1.31	1.25	1.18	1.37	1.35	1.16
7	4.0	0.377	0.362	0.61	0.59	0.63	0.6	0.6
9	1.2	0.73	0.71	0.76	0.74	0.77	0.73	0.73
11	3.0	0.51	0.42	0.39	0.4	0.41	0.43	0.4
13	2.5	0.43	0.3	0.3	0.29	0.32	0.3	0.3
15	0.3	0.34	0.12	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11
17	1.6	0.62	0.48	0.48	0.47	0.5	0.47	0.46
19	1.2	0.63	0.35	0.38	0.35	0.37	0.35	0.35
21	0.2	0.32	0.11	0.11	0.09	0.09	0.08	0.09
THDV (%)	6.5	2.89	2.22	2.32	2.72	2.29	2.56	2.54

기준 2에 의한 고조파 전압 평가를 IEC 61000-3-6에 적용한다. 일주일 동안 10분 측정값의 누적확률 95[%]가 계획 레벨을 넘는지 평가한다. 그림 11은 PQM 장비로 일주일 동안 측정된 누적 확률 분포도이고, 편의상 A상만 나타낸다.

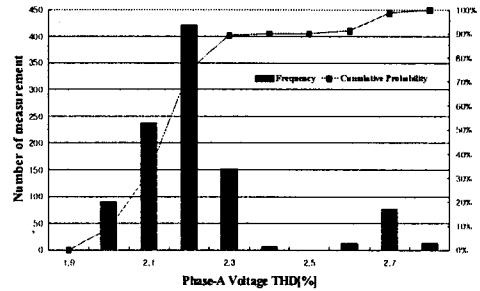


그림 11. 일주일 동안 측정된 전압 왜형률의 누적 분포
Fig. 11. Measured voltage THD cumulative probability distribution during one week

표 5는 기준 2에 의한 고조파 전압 평가를 간추려 놓은 것이다.

기준 1에 의한 고조파 전압 평가는 전압왜형률이 약 2.52[%]으로 약간 높은 편(한전 기준 3[%])이었고, 특히 제5차 고조파가 약 1.5[%]으로 가장 큰 값을 나타내었다. PQM장비는 3, 5, ..., 21 차수의 홀수 차 고조파만 나타낼 수 있어, 짝수차 고조파의 평가는 현재 할 수가 없었다.

표 5. 기준 2에 의한 고조파 전압 평가
Table 5. Harmonic voltage evaluation by the assessment 2

차수	IEC 61000-3-6 planning levels	A 상 95% CP	B 상 95% CP	C 상 95% CP
3	4.0	0.98	0.71	1.12
5	5.0	1.41	1.58	1.34
7	4.0	0.62	0.74	0.74
9	1.2	0.73	0.65	0.73
11	3.0	0.46	0.5	0.48
13	2.5	0.42	0.41	0.41
15	0.3	0.29	0.3	0.32
17	1.6	0.59	0.61	0.59
19	1.2	0.59	0.6	0.58
21	0.2	0.26	0.26	0.29
THDV(%)	6.5	2.66	2.79	2.65

표 6. 기준 3에 의한 고조파 전압 평가
Table 6. Harmonic voltage evaluation by the assessment 3

차수	IEC 61000-3-6 planning levels $\times 1.5$	A 상 99(%) CP	B 상 99(%) CP	C 상 99(%) CP
3	6.0	1.06	0.8	1.22
5	7.5	1.44	1.61	1.37
7	6.0	0.65	0.77	0.77
9	1.8	0.75	0.67	0.77
11	4.5	0.5	0.53	0.51
13	3.75	0.44	0.44	0.43
15	0.45	0.3	0.32	0.34
17	2.4	0.62	0.63	0.61
19	1.8	0.63	0.65	0.63
21	0.3	0.29	0.3	0.32
THDV(%)	9.75	2.71	2.84	2.71

3.2.2 고조파 전류 평가

기준 1에 의한 고조파 전류 평가를 IEEE 519에 적용한다. 그림 12는 PQM 장비로 하루 동안 측정된 누적 확률 분포도이다. 편의상 일주일 중 하루 동안의 A상의 전류만 나타낸다.

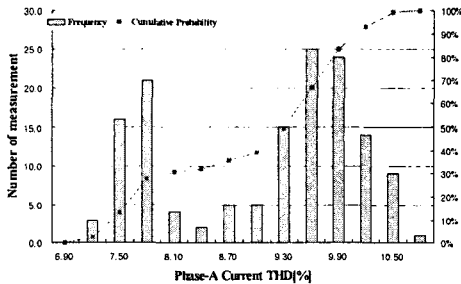


그림 12. 하루 동안 측정된 전류 왜형률의 누적분포
Fig. 12. Measured current THD cumulative probability distribution during one day

표 7은 기준 1에 의한 고조파 전류 평가를 간추려 놓은 것이다.

고조파 평가 결과 전류 왜형률이 IEEE 기준치(5%)를 초과(약 8.3%)하고 있다. 특히 제 5차 고조파가 기준치(4%)보다 많이 초과하고, 7th, 11th, 13th, 17th, 19th 등이 고조파 함유율이 높은 것으로 관측되어, 사례연구 수용가는 6-pulse converter를 많이 사용하는 것으로 판단된다.

표 7-1. 기준 1에 의한 고조파 전류 평가(A상)
Table 7-1. Harmonic current evaluation by the assessment 1(phase A)

차수	IEEE 519 limits	1월 95(%) CP	2월 95(%) CP	3월 95(%) CP	4월 95(%) CP	5월 95(%) CP	6월 95(%) CP	7월 95(%) CP
3	4.0	1.38	1.09	1.25	1.35	0.96	1.45	0.49
5	4.0	7.66*	7.45*	7.7	9.32*	5.71*	8.15*	8.53*
7	4.0	2.88	2.62	2.65	3.01	2.45	2.86	2.73
9	4.0	0.31	0.21	0.22	0.22	0.18	0.23	0.23
11	2.0	1.75	1.59	1.65	1.71	1.58	1.55	1.65
13	2.0	0.82	0.81	0.82	0.88	0.84	0.85	0.84
15	2.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17	1.5	1.29	1.28	1.3	1.31	1.28	1.29	1.26
19	1.5	1.01	1.01	1.01	1.03	1.01	1.04	1.02
21	1.5	0.08	0.09	0.1	0.09	0.09	0.1	0.1
TDD (%)	5.0	7.98*	7.49*	8.03*	9.89*	6.57*	8.50*	9.49*

주) *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

표 7-2. 기준 1에 의한 고조파 전류 평가(B상)
Table 7-2. Harmonic current evaluation by the assessment 1(phase B)

차수	IEEE 519 limits	1월 95(%) CP	2월 95(%) CP	3월 95(%) CP	4월 95(%) CP	5월 95(%) CP	6월 95(%) CP	7월 95(%) CP
3	4.0	1.43	0.98	1.17	1.33	0.9	1.37	1.45
5	4.0	7.43*	7.33*	7.59*	9.11*	5.64*	7.91*	8.29*
7	4.0	3.31	2.95	2.97	3.32	2.81	3.16	3.07
9	4.0	0.29	0.25	0.27	0.22	0.2	0.27	0.25
11	2.0	1.56	1.54	1.59	1.65	1.55	1.53	1.58
13	2.0	0.83	0.82	0.82	0.88	0.85	0.85	0.83
15	2.0	0.11	0.11	0.1	0.09	0.09	0.1	0.11
17	1.5	1.26	1.24	1.25	1.25	1.25	1.26	1.21
19	1.5	1.01	1.01	1.0	1.02	1.0	1.03	1.01
21	1.5	0.11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TDD (%)	5.0	8.06*	7.57*	8.22*	10.5*	6.75*	8.66*	9.49*

주) *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

표 7-3. 기준 1에 의한 고조파 전류 평가(C상)
Table 7-3. Harmonic current evaluation by the assessment 1(phase C)

차수	IEEE 519 limits	1월 95(%) CP	2월 95(%) CP	3월 95(%) CP	4월 95(%) CP	5월 95(%) CP	6월 95(%) CP	7월 95(%) CP
3	4.0	1.08	0.87	1.09	1.3	0.84	1.29	1.4
5	4.0	7.19*	7.2*	7.47*	8.89*	5.57*	7.66*	8.06*
7	4.0	3.44	3.28	3.29	3.63	3.17	3.45	3.42
9	4.0	0.29	0.22	0.23	0.21	0.21	0.22	0.22
11	2.0	1.58	1.49	1.53	1.59	1.51	1.51	1.51
13	2.0	0.83	0.82	0.82	0.86	0.86	0.85	0.82
15	2.0	0.1	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
17	1.5	1.2	1.2	1.2	1.19	1.21	1.2	1.16
19	1.5	0.99	1.01	0.99	1.01	0.66	1.02	0.99
21	1.5	0.09	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TDD (%)	5.0	8.06*	7.43*	7.96*	9.71*	6.76*	8.39*	9.21*

주) *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

전해조 부하의 고조파 측정 및 평가에 관한 연구

기준 2에 의한 고조파 평가를 IEEE 519에 적용한다. 일주일 동안 10분 측정값이 누적 확률 96[%]가 계획 레벨을 넘는지 평가한다. 그림 13은 PQM장비로 일주일 동안 측정된 누적확률 분포도이고, 편의상 A상만 나타낸다.

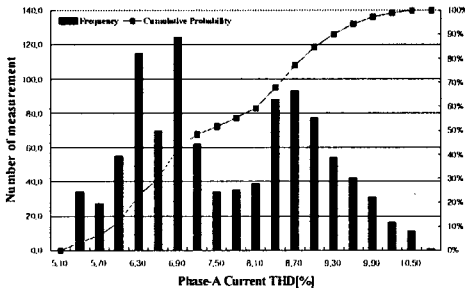


그림 13. 일주일 동안 측정된 전류 왜형률의 누적분포
Fig. 13. Measured current THD cumulative probability distribution during one week

표 8은 기준 2에 의한 고조파 전류 평가를 간추려 놓았다.

표 8. 기준 2에 의한 고조파 전류 평가
Table 8. Harmonic current evaluation by the assessment 2

차수	IEEE 519 limits	A 상 99[%] CP	B 상 99[%] CP	C 상 99[%] CP
3	4.0	1.42	2.57	1.24
5	4.0	8.72*	8.03*	8.28*
7	4.0	2.83	0.79	3.44
9	4.0	0.24	0.29	0.23
11	2.0	1.67	0.32	0.84
13	2.0	0.84	0.32	0.84
15	2.0	0.1	0.09	0.11
17	1.5	1.29	0.13	1.2
19	1.5	1.02	0.11	1.01
21	1.5	0.1	0.07	0.1
TDD (%)	5.0	9.72*	9.79*	9.43*

주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

기준 2에 의한 평가 결과(약 9.7[%] 전류 왜형률)는 기준 1의 결과(약 8.3[%] 전류 왜형률)보다 약간 높게 나와서, 시간에 따라 변하는 고조파에는 조금

더 엄격한 기준이 적용됨을 의미한다.

기준 3에 의한 고조파 전류 평가를 IEEE 519에 적용한다. 일주일 동안 10분 측정값이 누적 확률 99[%]가 제한치를 넘는지 평가한다. 표 9는 기준 3에 의한 고조파 전류 평가를 간추려 놓았다.

표 9. 기준 3에 의한 고조파 전류 평가
Table 9. Harmonic current evaluation by the assessment 3

차수	IEEE 519 limits×1.5	A 상 99[%] CP	B 상 99[%] CP	C 상 99[%] CP
3	6.0	1.51	3.03	1.4
5	6.0	9.32*	8.89*	8.89*
7	6.0	3.6	3.28	3.62
9	6.0	0.31	0.32	0.29
11	3.0	1.75	0.82	0.87
13	3.0	0.88	0.82	0.87
15	3.0	0.11	0.1	0.11
17	2.25	1.32	1.26	1.22
19	2.25	1.02	1.01	1.04
21	2.25	0.1	0.1	0.11
TDD (%)	7.5	10.22*	1.032*	9.97*

주] *는 기준치를 초과하는 값을 나타낸다.

기준 3에 의한 고조파 전류 평가 결과는 기준 1, 2와 비슷하다. 제 5차 고조파가 기준치를 많이 초과하므로 고조파 필터 설치가 요구된다.

4. 결 론

전해조를 포함하는 비선형 부하가 화학공장에는 많아 고조파 발생이 많은 것으로 알려져 있다. 특히 부하 변동이 시시각각으로 일어나므로 순시치 측정에 의한 고조파 분석과 평가는 오류를 범하기 쉽다.

고조파 평가 기준의 원칙은 공통 결합점에서 전력회사는 고조파 전압이 일정 수준 이하가 되도록 해야 하고, 수용가는 할당된 범위 내에서 고조파 전류를 방출하여 전기 품질을 일정 수준 이상 유지해야 하는데 있다.

순시치 측정에 의한 공통 결합점에서 고조파 전압

왜형률은 약 2.3[%]이었고, 고조파 전류 왜형률은 약 9.4[%]로서 IEC 61000-3-6 전압 계획 레벨인 6.5[%] 이하이나 단독 배전선로인점을 감안하면 조금 높은 편이다(참고로 한전 규정은 3.0[%]이다). IEEE 519 전류 제한치(5.0[%])보다 훨씬 높은 전류 왜형률은 기존의 고조파 필터가 맞지 않음을 의미하므로, 특히 제 5차 고조파 필터는 보강할 필요가 있다.

시간에 따라 변하는 고조파를 국제 기준인 누적 확률을 사용하여 평가하면 순시치 측정에 의한 평가와는 다른 결과가 도출되었다. 전압 왜형률은 누적 확률 95[%]를 적용하면 최소 2.22[%]에서 최대 2.96[%]으로 높아지고, 전류 왜형률은 최소 6.57[%]에서 최대 10.05[%]으로 변화되었다. 사례연구 수용가는 일주일 동안의 부하 변동이 거의 없어 순시치 측정과 시간에 따라 변하는 고조파 측정의 결과가 크게 차이가 나지 않았지만, 한 순간의 측정으로 고조파를 분석하면 올바른 고조파 평가가 일반적으로 될 수가 없다.

향후 시간에 따라 변하는 고조파를 측정하고 평가하는 방법에 대한 연구를 지속적으로 할 계획이다.

본 연구는 전력산업 연구개발사업으로 수행되었음.

References

- [1] P. Stade, M. Malsch, and H. Schau, "A New Filter Concept for an Electrolysis in a Chemical Plant", QRED2001, Conference Publication No. 482, IEEE 2001.
- [2] IEC 61000-4-7, "General Guide on Harmonics and Inter-harmonics Measurement and Instrumentation for Power Supply Systems", 1991.
- [3] BMI-FX5, "Basic Measuring Instrument Power 테.LOERE", Dranetz Co., 2004.
- [4] PQM, "Power Quality Monitoring System", PSD. Tech.

- Co., 2004.
- [5] IEC 61000-3-6, "Assessment of Emissions Limits for Distorting Loads in MV or HV Power Systems", 1996.
- [6] IEEE Std 519-1992, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonics Control in Electrical Power Systems".

◇ 저자소개 ◇

김경철 (金慶哲)

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

이주홍 (李柱洪)

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

진성은 (陳聖恩)

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

박상영 (朴相泳)

1976년 8월7일생. 2002년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2004년~현재 홍익대학교 대학원 석사과정.

이일무 (李一茂)

1971년 7월 16일생. 2000년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001~2004년 (주)피에스디테크 연구원. 2003년~현재 동 대학원 박사과정. 2004년 8월~현재 Micro Power 대표이사.

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.