

고조파전류 측정에 근거한 국내 고조파 관리기준 검토

박용업, 강문호, 이남우
한국전력공사 전력연구원

Examination of the domestic harmonic standard introduction based on measurement of harmonic current

Yong Up Park, Moon Ho Kang, Nam Woo Lee
KEPRI

Abstract - In order to increase an efficiency of electric machine, the power electric devices are rapidly increasing of late. These electric components are mainly caused to lower of power quality. To take precautions against lower of power quality, the advanced countries already made effort to control of harmonic level. For these harmonic control of advanced countries have applied harmonic planning level, emission of harmonic based on the technical calculation and experiment. In this paper, we have investigated the introduction abroad advanced country standard through compared IEEE, IEC with the real measurement of domestic harmonic level.

1. 서 론

최근 전기기기의 효율을 향상시키기 위해서 전력전자 소자와 같은 비선형부하가 급증하고 있다. 이와 같은 비선형부하는 전력계통의 전기품질을 저하시키는 고조파 발생의 주 원인이 되고 있다. 이에 대비하기 위해 선진국에서는 이미 배전계통의 고조파 전압 계획레벨 및 고조파 유출전류 제한치를 제정하여 이를 기반으로 전체 전력계통의 체계적인 전기품질 관리가 이루어지고 있다. 그러나 이와 같은 배전계통 고조파 관리기준의 세부적인 제정 시 고조파 수준, 배전계통의 특성, 고조파 발생원의 분포, 부하의 형태 등 많은 사항을 고려해야 하기 때문에 합리적인 고조파 관리기준을 제정하는 것은 쉽지 않은 일이다. 또한 국내에는 전력회사가 이와 같은 고조파 관련으로 발생하는 민원을 모두 감당할 수밖에 없는 실정이지만, 고조파 관리 기준을 제정하여 기준값을 초과하는 수용가에게 그에 합당한 제재를 가하기 어려운 상황이기 때문에 근본적인 해결 대책이 필요하다. 현재 정부 및 전력회사에서는 최근 해외 고조파 관리기준에 대한 벤치마킹을 시도하고 있다. 본 논문에서는 IEEE, IEC 기준을 토대로 실측정한 고조파 전류 및 국내여건 등을 고려하여 좀 더 합리적인 국제규격에 대한 도입여부를 검토하였다.

2. 본 론

2.1 고조파 국제규격 현황

2.1.1 IEEE 고조파 관리기준

미국의 고조파 관리기준은 IEEE Std. 519에 규정되어 있으며, 표 1, 2와 같다. 만일 국내 배전계통에 미국의 기준을 적용한다면, 69[kV] 이하의 고조파 전압 관리기준에 적용하게 될 것이며, 전류는 수용가의 단락용량과 최대부하전류 비에 의해 결정되며 짝수차 고조파에 대한 전류 제한치는 홀수차의 25%가 되는 값을 사용한다.

〈표 1〉 전력계통 고조파 전압 제한치

PCC에서의 전압(V _n)	각 고조파의 전압 왜형(%)	총 전압 왜형-THD _{Vn} (%)
V _n ≤ 69kV	3.0	5.0
69kV < V _n ≤ 161kV	1.5	2.5
V _n ≥ 161kV	1.0	1.5

〈표 2〉 전력계통 고조파 전류 제한치

V _n ≤ 69kV						
I _{sc} /I _L	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ h	TDD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

단락 용량이 높은 계통은 동일한 고조파 전류에 대해 영향을 덜 받기 때문에 이는 시스템의 강인성을 나타내는 지표로 사용되며, 부하 전류는 시스템에 미치는 영향을 나타내기 때문에 단락전류와 부하전류의 비로 고조파 전류를 제한한다. IEEE에서는 고조파 전류값 산출방식으로 TDD를 적용하고 있는데, 이는 기본과 전류의 순시치를 분모로 적용하는 THD_i에서 기본과 전류 변화 시 전체 고조파 왜형률이 함께 변동하여 고정적인 지수 확립이 어렵다는 단점 때문에 이를 적용하고 있으나, 역률에 따라 그 값이 변동하는 단점을 가지고 있다.

2.1.2 IEC 고조파 관리기준

유럽에서는 IEC 61000-3 시리즈에 고조파 관리기준을 규정하고 있다. 중압계통(1kV < U_n < 35kV)의 고조파 전압에 대한 기준은 아래 표와 같으며, 22차 이상의 고조파 전압은 계산에 의해 산출되어진다.

〈표 3〉 전력계통 고조파 전압 제한치(21차 이내)

3배수를 제외한 기수차수	%	3배수 기수차수	%	우수차수	%
5	5	3	4	2	1.8
7	4	9	1.2	4	1
11	3	15	0.3	6	0.5
13	2.5	21	0.2	8	0.5
THD _v = 8%				10	0.5

배전계통의 고조파 전압 왜형률은 전력계통의 특성 및 전력회사의 설비 특성을 고려하여 전압 계획레벨, 전역 영향 및 고조파 차수에 따른 합성 먹지수 등을 적용하여 차수별 전압값을 산출하게 된다. 또한 저압계통에서 사용되는 각종 기기들은 용량, 특성, 기기 구성부품 등을 기준으로 최초 설계 될 때부터 고조파 전류 방출에 대한 한계값을 적용하고 있다.

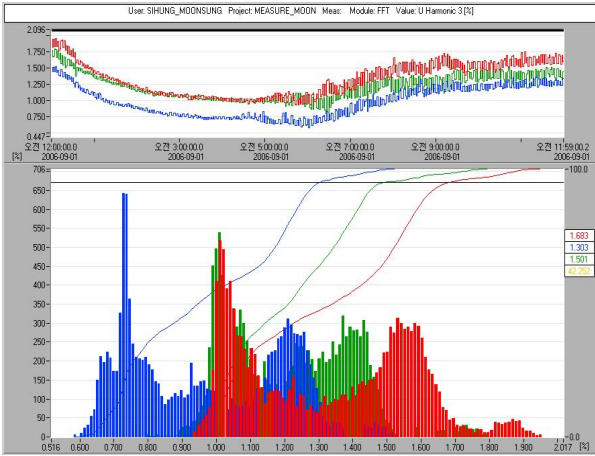
2.2 배전계통의 고조파 측정 및 분석결과

2.2.1 고조파 측정 및 산출

고조파 측정 장소는 고압수용가 MOF내 VCB 1차측을 공통점(Point of Common Coupling)으로 가정하여 측정을 수행하였으며, 고조파 전압은 IEC 61000-3-6의 1주일 이상의 장기측정 절차에 근거하였고, 고조파 전류는 1일간 최대부하 전류를 적용한 TDD 방식으로 전류값을 산출하였다. 측정대상 수용가 A, B는 D/L내에서 가장 큰 용량을 가지고 있는 부하이며, 이들이 연계되어 있는 D/L은 대부분 공업용 수용가이다. 이 곳은 프레스, 금형, 용접 및 로봇을 이용한 자동화 생산 공정 설비를 가지고 있는 비선형 공업 부하이며, 선로 말단부에 연계되어 있다. 전압측정은 12사이클 동안 15개의 시간 윈도우로 구성된 3초와 이들 간격 사이의 유효 측정시간 7초로 구성되어 측정하였다. 이와 같은 10초 측정방식(T_{VS})으로 측정 된 10분간의 시간윈도우의 평균 실효치 값(T_{SR})은 10분 동안 측정 된 고조파 전압 왜형률의 대표값으로 선정되며, 아래 식과 같이 산출된다. 그리고 이와 같은 대표값들의 누적 확률 분포 95%에 해당하는 값을 IEC 고조파 전압 계획레벨에 적용하여 기준치 초과여부를 판별하였다. 아래 그림은 본 논문에서 적용한 누적확률 분포 95%를 나타 낸 히스토그램의 한 예이다.

10분간 유효측정 대표값 산출식 =

$$C_n \text{ VS} = \sqrt{\left(\sum_{k=1}^M c_{n,k}^2\right) / M}$$



〈그림 1〉 A 수용가에서의 고조파 전압 95% 값(월요일, 3차 고조파)

2.2.1 A 수용가 고조파 분석결과

표 4, 6은 일주일 동안의 고조파 전류값을 나타내고 있으며, 표 5, 7은 월요일에 측정된 제 3차 고조파 전압 왜형률이다. A 수용가의 고조파 전압 및 전류는 본 절의 아래 표에서 알 수 있듯이 모두 기준치를 초과하지 않는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 A 수용가에서의 TDD 산출 값

Date	phase A 최대전류	TDD(total)	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 21
TUE	27.90	3.43	3.38	0.58	0.18
WED	28.08	3.53	3.48	0.57	0.25
THU	27.66	3.34	3.20	0.83	0.44
FRI	26.71	3.86	3.82	0.53	0.25
SAT	22.61	4.37	4.24	0.89	0.58
SUN	9.71	4.04	3.85	0.95	0.75
MON	30.07	2.88	2.84	0.45	0.20

〈표 5〉 A 수용가에서의 고조파 전압 분석 값(월, 3차 고조파)

차수	홀수 고조파				홀수 고조파(3배수)				짝수 고조파					
	고조파 전압(%)				고조파 전압(%)				고조파 전압(%)					
	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max	차수	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max	차수	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max
5	5.0	1.85	1.96	2.05	3	4.0	0.76	0.73	0.99	2	1.8	0.97	0.28	0.3
7	4.0	0.58	0.62	0.64	9	1.2	1.04	1.06	1.06	4	1.0	0.3	0.2	0.2
11	3.0	0.28	0.22	0.21	15	0.3	0.18	0.22	0.23	6	0.5	0.24	0.25	0.27
13	2.5	0.18	0.23	0.17	21	0.2	0.09	0.05	0.1	8	0.5	0.1	0.14	0.1
17	1.6	0.13	0.13	0.15						10	0.5	0.1	0.1	0.12
19	1.2	0.11	0.13	0.1						12	0.4	0.08	0.07	0.06

2.2.2 B 수용가 고조파 분석결과

B 수용가에서의 고조파 유출 전류값은 기준치를 만족하지만, 고조파 전압은 기준치를 대부분 초과하는 것을 볼 수 있다. 표 7의 음영부분은 B 수용가의 누적확률 분포 95% 값이 IEC 61000-3-6의 계획레벨을 초과하는 값을 나타낸 것이다.

〈표 6〉 B 수용가에서의 고조파 전류 분석 값(월, 3차 고조파)

Date	phase A 최대전류	TDD(total)	h < 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 21
02-27	16.40	4.87	4.68	1.33	0.37
02-28	15.00	4.82	4.64	1.29	0.26
03-01	9.60	10.89	10.82	1.05	0.71
03-02	16.50	2.34	2.24	0.62	0.25
03-03	13.80	4.91	4.75	1.22	0.13
03-04	9.60	8.05	8.00	0.50	0.71
03-05	16.60	4.17	4.03	1.07	0.23

〈표 7〉 B 수용가에서의 고조파 전압 분석 값(월, 3차 고조파)

차수	홀수 고조파(비 3배수)				홀수 고조파(3배수)				짝수 고조파					
	고조파 전압(%)				고조파 전압(%)				고조파 전압(%)					
	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max	차수	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max	차수	기준	A상 Max	B상 Max	C상 Max
5	5.0	3.1	2.1	1.7	3	4.0	4.6	3.7	5.0	2	1.8	3.1	2.4	2.9
7	4.0	0.6	1.0	1.2	9	1.2	9.0	7.4	9.3	4	1.0	1.6	1.2	1.4
11	3.0	0.9	0.8	0.9	15	0.3	1.6	1.4	1.8	6	0.5	1.0	1.0	1.1
13	2.5	0.7	0.6	0.8	21	0.2	0.7	0.6	0.8	8	0.4	0.9	0.8	0.9
17	1.6	0.5	0.5	0.5						10	0.5	0.7	0.6	0.7
19	1.2	0.6	0.5	0.7						12	0.4	0.6	0.5	0.6

2.3 국내조건을 고려한 국제규격 도입

전질의 측정결과에서 비선형 소자를 많이 사용하는 공업부하라도 수용가 내의 변압기가 계통으로 유입되는 영상분 고조파 전류를 차단하고 있으며, 수용가 부하 내의 인버터 필터로 인하여 고조파 전류의 유출이 거의 없었지만, 전압 고조파는 주변 지역의 단상 부하에 의해 기준치를 초과하는 것을 알 수 있었다. 실제로 전압 고조파가 기준치를 초과하는 B 수용가 지역은 단상 부하가 넓게 분포되어 있었다. 결국 배전계통에 양질의 전기를 공급하기 위해서는 고조파가 반드시 차단되어야 하는데, 이는 고압보다는 저압 수용가에서 해결책을 찾아야 한다. 그러나 국내 여건 상 모든 저압 수용가를 통제하는 것은 불가능하기 때문에 고조파에 영향을 미치는 제품의 출시 때부터 고조파 전류를 제한하는 IEC 규격이 국내 여건에 적합할 것으로 판단된다. 만일 IEC 규격을 국내에 도입하게 된다면, 국내 전력계통 및 부하 등을 고려하여 전력회사와 전기기기 생산자 간의 합리적인 양립정책, 계획레벨, 전역영향 등을 설정하는 과정을 반드시 거쳐야 한다. 또한 기존의 국내 산업규격이나 전력회사의 운영규격은 대부분 IEC를 지향하고 있는 실정이기 때문에 국내 규격의 확립화를 위해서라도 IEC 규격을 도입하는 것이 합리적이다.

3. 결 론

최근 전기기기의 효율 향상을 위해 사용되어지는 비선형 부하의 급증에 의해 전기품질이 저하되고 있다. 이미 선진국에서는 고조파 관리기준을 적용하고 있으며, 국내에서도 최근 고조파에 관련 된 문제발생으로 국제규격에 대한 벤치마킹을 시도하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 국내 여건을 고려한 해외 고조파 관리기준의 적용성을 간략하게 검토해 보았으며, 계통의 고조파 전압에 대한 단상부하의 영향을 고려하여 IEC 고조파 관리기준이 국내 기준으로 적합 할 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Alex McEachern, "An International Approach for PQ Monitoring Standard", IEEE PES Volume VI, 63-65P, 2005
- [2] 배전계통 고조파 관리기준 연구, 2005. 2
- [3] IEC 61000-3-6(2002)
- [4] IEC 61000-4-7(2002)