

국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값 산정

(Calculation of the Harmonic Emission Limit for Low-Voltage Electrical Equipment)

강문호* · 송양희 · 이광호

(Moon-Ho Kang · Yang-Hoi Song · Heung-Ho Lee)

요 약

배전계통의 고조파 방해(Harmonics Disturbance)현상은 배전계통에서 전압강하와 함께 순시 전력품질을 저해하여 중성선 및 NGR(Neutral Ground Reactor) 과열, OCGR 오동작 등의 문제를 발생시킴으로써 전력회사와 고객 모두에게 막대한 경제적인 손실을 주고 있어 동 분야에 대한 적극적인 대책이 필요하다.

이에 대한 해결 방안으로 유럽에서는 IEC 61000-3-2 규격을 통해 상당 16[A] 이하 저압 전기기기의 고조파를 제한하고 있다. 본 규격은 저압 전기기기를 4개의 등급으로 구분하여 관리하고 있으며, 분석결과 클래스 A등급 해당 전기기기의 고조파 유출제한 기준은 저압계통의 기준임피던스와 허용 최대전압을 바탕으로 산정되었으며, 타 등급(B, C, D등급)의 유출제한 기준들도 클래스 A의 유출제한 기준을 바탕으로 산정되었다. 따라서 본 논문에서는 IEC 61000-3-2 규격 분석결과를 바탕으로 국내 기준임피던스에 기초하여 국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값을 산정하였다.

Abstract

Because the harmonic disturbance characteristic which makes voltage drop and the deterioration of instantaneous power quality in electrical power system overheats the NGR and the customer capacitor and malfunctions the OCGR. and AMR, it is necessary for electric power company to take active measures to reduce this disturbance.

International Electrotechnical Commission(IEC) 61000-3-2 specifies limits for harmonic current emissions generated by low voltage(LV) electrical equipment whose input current $\leq 16[A]$ per phase. Analysis shows that limits for Class A equipment in IEC are calculated using the reference impedance of LV system and maximum permissible voltage and limits for other Classes are also calculated based on limits for Class A. Therefore we have calculated four(4) internal limits for LV electrical equipment using the korea reference impedance and maximum permissible voltage in this paper.

Key Words : IEC 61000-3-2, Reference Impedance, Maximum permissible voltage

* 주저자 : 전력연구원 배전품질안전그룹 선임연구원

Tel : 042-865-5924, Fax : 042-865-5904, E-mail : mhkang@kepco.co.kr

접수일자 : 2008년 7월 21일, 1차심사 : 2008년 7월 29일, 심사완료 : 2008년 8월 12일

1. 서 론

최근 배전계통에서 발생하는 고조파 장해현상은 저압으로 공급되는 일반고객 및 소규모 고객의 부하에서 유출되는 영상분 고조파가 원인으로 추정되고 있기 때문에 저압 전기기기 및 저압 배전계통의 고조파 발생 현황을 파악하고 저압 전기기기의 고조파 유출 제한 값을 규정할 필요성이 크다.

따라서 국내 배전계통의 전기품질 향상과 고품질 전력공급을 위해 고조파 문제의 원인으로 추정되는 저압 전기기기의 고조파 유출 제한 값을 산정하기 위해 IEC 61000-3-2 규격을 분석하고 국내 저압배전계통의 특성을 고려하여 고조파 유출 제한값을 산정하였다.

IEC에서는 저압 배전계통에서 사용하는 전기기기를 제조 단계에서 고조파 유출 제한치 이하로 관리하기 위해 저압 전기기기를 특성에 따라 클래스별로 분류하여 고조파 유출을 제한하고 있으며 각 클래스에 해당하는 전기기기는 아래와 같다.

- 클래스 A등급 : 가정용 기기, 평형 3상기기, 타 등급에 해당되지 않는 전기기기
- 클래스 B등급 : 휴대용 전동공구, 아크 용접기 (전문가용 제외)
- 클래스 C등급 : 조명기기, 형광등, 수은등 등의 방전 램프류, 조광기
- 클래스 D등급 : PC, 모니터, TV(75~600[W])

2. 고조파 현황 분석

2.1 저압 배전계통 고조파 발생 현황

정보통신기술의 발달로 인해 비선형 부하의 사용이 점차적으로 증가하고 있으며 이로 인해 배전계통에는 고조파로 인한 많은 장해들이 발생하고 있다. 이러한 고조파는 전기기기의 수명감소, 중성선 과열 그리고 전자식 계량기 및 계전기 오동작의 원인이 되고 있다.

합리적인 고조파 유출 제한 값을 결정하기 위해 현 저압 배전계통의 고조파 발생 현황을 파악할 필요성이 크다. 현재 저압 배전계통을 공급하는 주상

변압기의 수량은 184만대 이상(2008.05 기준)으로 이를 모두 측정대상으로 선정하기는 현실적으로 곤란하다. 따라서 통계적 기법을 통해 대상개소를 무한 모집단을 가정하고 오차 0.2[%], 신뢰도 95[%], 표준편차 1.0[%]를 고려하여 측정개소 수를 선정하였다.

$$\text{측정 개소수} = \left(\frac{1.96 \cdot 0.01}{0.002} \right)^2 \approx 100 \quad (1)$$

측정개소를 지역별로 구분하여 서울지역(54개소), 경기지역(13개소), 충남지역(20개소), 강원지역(13개소)으로 구분하여 1년간 저압 배전계통의 고조파를 측정하고 이를 IEC 61000-3-6 규격에 규정한 저압 배전계통의 적합성레벨(Compatibility Level)과 비교 분석하였다. 분석결과 영상분에 해당하는 9차와 15차 고조파가 IEC에서 규정한 적합성레벨(9차 :

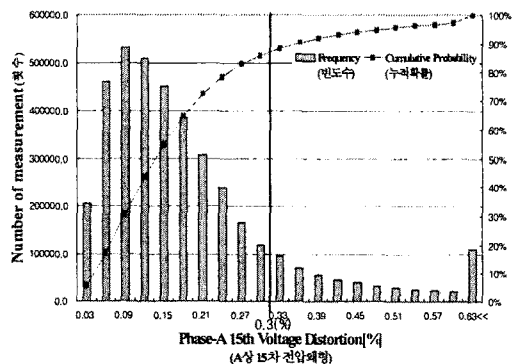
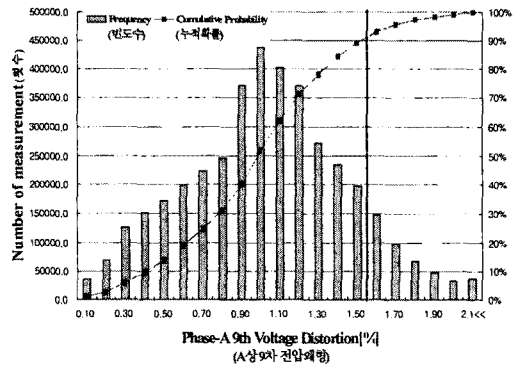


그림 1. 9차 및 15차 고조파의 누적확률분포
Fig. 1. The cumulative probability distribution of 9th and 15th harmonic voltage

국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값 산정

1.5[%], 15차 : 0.3[%])을 초과하여 발생하였다. 그림 1에 9차 및 15차 고조파에 대한 누적확률분포를 나타내었다[1].

2.2 국내 저압 전기기기 고조파 발생 현황

국내 시판되는 저압 전기기기의 고조파 발생량을 확인하기 위해 전체 302개의 전기기기를 대상으로 IEC 61000-3-2 규격에 따라 클래스별로 구분하고 동 규격에 제시된 시험조건에서 개별 전기기기의 고조파 발생량을 측정하였다. 측정시료의 구성은 일반 가정용 전기기기에 해당하는 클래스 A등급이 69.2[%], 휴대용 전동공구에 해당하는 클래스 B등급이 8.3[%], 조명기구에 해당하는 클래스 C등급이 14.2[%], PC, TV에 해당하는 클래스 D등급이 8.3[%]로 나타났다.

표 1. 측정기기의 클래스별 합격률
Table 1. Pass ratio by Each Class

	총 계	합격	불합격	합격률
클래스 A등급	209	183	26	87.5[%]
클래스 B등급	25	25	0	100[%]
클래스 C등급	43	16	27	37.2[%]
클래스 D등급	25	12	13	48.0[%]
계	302	236	66	78.1[%]

각 클래스별로 분석해 보면 클래스 A등급이 총 209개의 기기 중 183개가 합격되었고, 불합격 전기기기의 경우 2차, 4차, 6차, 8차, 14차 등 우수고조파 성분이 주로 제한값을 초과하였다. 클래스 B등급에서는 25개의 기기 모두 합격하였다. 클래스 C등급은 총 43개의 기기 중 16개의 기기가 합격하였으며, 불합격된 전기기기의 경우 3차, 9차, 11차, 13차, 19차 등 기수고조파 성분이 주로 기준 제한값을 초과하였다. 클래스 D등급은 총 25개의 기기 중 12개 기기가 합격하였으며, 불합격 판정을 받은 기기들은 모두 3차, 9차, 11차, 13차, 23차 고조파가 제한값을 초과하여 발생하였다.

3. 저압 전기기기 고조파 유출 제한

3.1 IEC의 저압 전기기기 고조파 유출 제한 값

국제 전기기술기준을 대표하는 IEC는 저압 전기기기의 고조파 유출을 제한하기 위해 16[A]이하 저압 전기기기를 부하특성에 따라 클래스별로 분류하고 개별 고조파 전류 제한 값을 규정하고 있다[2].

먼저 클래스 A등급에 해당하는 저압 전기기기의 고조파 방출 기준은 IEC 61000-3-6 규격의 적합성 레벨에 제시된 각 고조파의 허용 전압왜형률(기본파에 대한 백분율)에 따라 최대 허용전압이 결정된다.

따라서 저압 전기기기의 최대 허용전류(I_h)는 전기기기가 공통접속점(PCC)에서 발생시킬 수 있는 최대 허용전압(U_h)과 저압 배전계통의 기준임피던스(Z_h)에 의해 계산되며 아래의 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_h = \frac{U_h}{Z_h} [A] \quad (2)$$

고조파 차수별 최대 허용전압은 허용 전압왜형률과 저압 배전계통 공칭전압의 곱으로 구할 수 있으며, IEC 국제규격에 규정된 허용 전압왜형률과 최대 허용전압은 아래의 표 2와 같다[3].

표 2. 고조파 차수별 최대 허용전압
Table 2. Maximum permissible voltage

차 수(h)	3	5	7	9	11	13
허용 전압왜형률 (v_h , [%])	0.85	0.65	0.60	0.40	0.40	0.30
최대 허용전압 (U_h)	1.96	1.50	1.38	0.92	0.92	0.69

또한 230[V]/50[Hz] 저압 배전계통의 기준임피던스는 IEC 60725에 $Z_{ref} = 0.4 + jh \cdot 0.25[\Omega]$ 으로 규정하고 있기 때문에 각 차수별 고조파 기준임피던스는 아래의 표 3과 같다[4].

표 3. 고조파 차수별 기준임피던스
Table 3. Reference impedance by harmonic order

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$Z_h[\Omega]$	0.85	1.31	1.80	2.29	2.8	3.28

따라서 위에서 구한 최대 허용전압과 기준임피던스를 위의 식 (1)에 적용하여 구한 클래스 A등급의 고조파 유출 제한값은 아래의 표 4와 같다.

표 4. 클래스 A등급 고조파 유출 제한값
Table 4. Limits for Class A equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[A]$	2.30	1.14	0.77	0.40	0.33	0.21

클래스 B등급에 해당하는 전기기기는 특성상 사용시간이 비교적 짧고 동시 사용의 가능성이 적기 때문에 클래스 A등급 제한값에 1.5배 적용한 값을 유출 제한 값으로 규정하고 있다. 1.5배를 적용하는 근거로 IEC 61000-2-4 규격에서 전 관측기간 중 10[%] (15초)동안 동작하는 전기기기의 제한 값은 장시간 사용기기 제한 값의 1.5배까지 허용하고 있기 때문인 것으로 판단된다[5].

클래스 C등급에 해당하는 조명기기는 사용전력이 작지만 많은 수량이 동시에 사용되기 때문에 IEC는 상대적으로 작은 제한 값을 규정하였다.

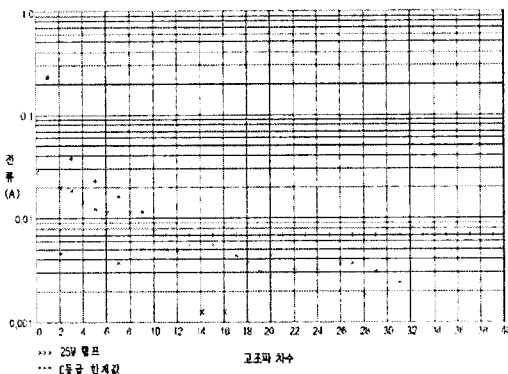


그림 2. C등급 제한값과 방전램프의 고조파 스펙트럼 분포
Fig. 2. Comparison of Class C limits and the harmonic spectrum of a discharge lamp

클래스 C등급의 유출 제한값은 조명기기(25[W] 램프)의 실제 방출 고조파 스펙트럼에 기초하여 선정되었으며, 저압 배전시스템의 전압, 주파수, 기준임피던스에 관계없이 동일한 제한 값이 적용된다. 특히 3차 유출 제한값에 역률이 고려된 것은 낮은 조명기기의 역률개선 대책으로 판단된다.

표 5. 클래스 C등급 고조파 유출 제한값
Table 5. Limits for Class C equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[\%]$	$30 \cdot \lambda$	10	7	5	3	3

클래스 D등급에 속하는 저압 전기기기는 사용밀도가 높고 장시간 사용되기 때문에 많은 고조파 전류를 발생시킨다. 클래스 A등급의 유출 제한값을 기준으로 해당 전기기기의 최대입력전력을 나눈 값을 제한 값으로 규정하고 있다.

$$i_h = \frac{I_h}{P} [mA/W] \quad (3)$$

표 6. 클래스 D등급 고조파 유출 제한값
Table 6. Limits for Class D equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[A]$	2.30	1.14	0.77	0.40	0.33	0.21
P[W]	676	600	770	800	943	710
$i_h [mA/W]$	3.40	1.90	1.00	0.50	0.35	0.30

3.2 국내 저압 전기기기 고조파 유출 제한 값

클래스 A등급에 해당하는 국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값을 산정을 위해 먼저 IEC 국제규격에 규정된 허용 전압왜형률과 저압 배전시스템의 규정전압(220[V])을 이용해 전기기기의 공통접속점에서 발생하는 최대 허용전압(U_h)을 계산하고 그 결과를 표 7에 나타내었다.

국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값 산정

표 7. 국내 고조파 차수별 최대 허용전압
Table 7. Internal maximum permissible voltage

차 수(h)	3	5	7	9	11	13
허용 전압왜형률 (v_h , [%])	0.85	0.65	0.60	0.40	0.40	0.30
최대 허용전압 (U_h)	1.87	1.43	1.32	0.88	0.88	0.66

국내 저압 배전계통(220V/60Hz)의 기준임피던스는 IEC 60725 : 2005에 $Z_{ref} = 0.67 + jh \cdot 0.37[\Omega]$ 으로 선정되어 있어 각 차수별 고조파 기준임피던스는 아래의 표 8과 같다[6].

표 8. 고조파 차수별 기준임피던스
Table 8. Reference impedance by harmonic order

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$Z_h[\Omega]$	1.30	1.97	2.68	3.40	4.12	4.86

따라서 위에서 구한 최대 허용전압과 기준임피던스를 위의 식 (1)에 적용하여 클래스 A등급의 전기기기에 적용되는 고조파 유출 제한값을 계산하면 아래의 표 9와 같다.

표 9. 클래스 A등급 국내 고조파 유출 제한값
Table 9. Internal limits for Class A equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[A]$	1.44	0.73	0.49	0.26	0.21	0.14

클래스 B등급에 해당하는 전기기기는 클래스 A등급 제한값의 1.5배 적용한 값이므로 아래와 같이 유출 제한값을 산출할 수 있다.

표 10. 클래스 B등급 국내 고조파 유출 제한값
Table 10. Internal limits for Class B equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[A]$	2.16	1.10	0.74	0.37	0.32	0.21

클래스 C등급에 해당하는 조명기기는 실제 방출 고조파 스펙트럼에 기초하여 유출 제한값이 선정되

었기 때문에 저압 배전계통의 전압, 주파수, 기준임피던스에 상관없이 IEC 61000-3-2 규격의 클래스 C 등급의 제한 값이 동일하게 적용된다.

표 11. 클래스 C등급 국내 고조파 유출 제한값
Table 11. Internal limits for Class C equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
I_h [%]	$30 \cdot \lambda$	10	7	5	3	3

클래스 D등급에 속하는 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값은 위의 표 9에 제시된 클래스 A등급 제한값을 바탕으로 식 (3)을 이용하여 구할 수 있으며 그 결과는 표 12와 같다.

표 12. 클래스 D등급 국내 고조파 유출 제한값
Table 12. Internal limits for Class D equipment

차수(h)	3	5	7	9	11	13
$I_h[A]$	1.44	0.73	0.49	0.26	0.21	0.14
P[W]	676	600	770	800	943	710
$i_h[mA/W]$	2.13	1.22	0.64	0.33	0.22	0.20

4. 결 론

최근 국내에서 고조파에 의한 문제들이 발생하는 있으며 그 가운데 저압으로 공급되는 소규모 고객의 부하에서 유출하는 영상분 고조파가 원인으로 추정되고 있어 저압 배전계통의 고조파 관리가 필요하다.

이를 위해 국내 저압 배전계통의 고조파 발생현황을 분석한 결과 9차와 15차 고조파가 IEC 규격의 적합성레벨을 초과하여 나타났다. 또한 국내에서 시판되는 저압 전기기기의 고조파 발생량을 조사한 결과 클래스 B등급을 제외하고 타 등급의 전기기기는 IEC의 적합성레벨을 초과하였다.

본 논문에서는 IEC 61000-3-2 규격을 정밀 분석하여 국내 저압 전기기기의 고조파 유출 제한값을 산정하였으며, 본 연구결과는 국내 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준 수립에 적용되었다.

References

- [1] IEC TR 61000-3-6, "Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication", 1996.
- [2] IEC Std 61000-3-2, "Limits for harmonic current emissions (Equipment input current $\leq 16A$ per phase)", 2004.
- [3] IEC SC77A WG1, "Rationale for harmonics emission limits", 1996.
- [4] IEC TR 60725, "Consideration of reference impedances and public supply network impedances for use in determining disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current $\leq 75A$ per phase", 2005.
- [5] IEC Std 61000-2-4, "Compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances", 2002.
- [6] M. H. Kang, Y. H. Song, et al., "The Determination of Reference Impedance on TP2W Low Voltage System in Korea", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol. 21, No. 10, pp. 35~39, 2007. 12.

◇ 저자소개 ◇

강문호 (姜汶昊)

1969년 6월 21일생. 1994년 울산대 전기공학과 졸업. 1996년 울산대대학원 졸업(석사). 2005년 한국전력공사 전력연구원 선임연구원. 현재 전력연구원 배전품질안전그룹 선임연구원.

송양희 (宋良翕)

1957년 10월 1일생. 1981년 숭실대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 지식경제부 기술 표준원 디지털전자표준과 과장.

이흥호 (李興浩)

1950년 10월 28일생. 1973년 서울대 공업교육과(전기 전공) 졸업. 1977년 동대학원 공업교육과 졸업(석사). 1994년 동대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사). 현재 충남대학교 전기공학과 교수.