

IEC 저압 전기기기 고조파 유출제한 기준 분석

강문호*, 박용업*, 송양희*
한전 전력연구원*, 기술표준원*

Study on the Harmonic Emission Limit for Low-Voltage Electrical Equipment

Moon-Ho Kang*, Yong-Up Park*, Yang-Hyao Song*
KEPRI*, KATS*

Abstract - 배전계통의 고조파(Harmonics) 방해현상은 배전계통에서 전압강하와 함께 순시전력의 품질저하로 나타나고 있어 전력회사 및 고객 모두에게 막대한 손실을 주고 있어 동 분야에 대한 기준 제정을 통한 적극적인 대책이 절실히 필요하다.[3][4]

최근 고조파로 인한 중성선 및 NGR(Neutral Ground Reactor) 과열, OCGR 오동작 등의 문제가 발생하고 있어 이에 대한 대책수립이 요구되고 있으며, PL(Product Liability)법이 시행됨에 따라 전기품질에 대한 적절한 대응책 마련이 요구된다.[5][6]

유럽 등 선진국에서는 IEC 국제규격을 통해 규제기준치를 설정하고 저압 전기기기에서 발생하는 고조파를 규제하고 있으며, 국내의 저압 전기기기로부터 발생하는 고조파를 억제하기 위한 방안으로 상당 16A이하에 해당하는 IEC 고조파 유출제한 기준을 분석하였다. 분석결과 클래스 A등급의 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준은 저압계통의 기준 임피던스와 허용 최대전압을 바탕으로 계산되었으며, 기타 등급의 전기기기들도 클래스 A의 유출제한 기준을 바탕으로 산출되었다.

1. 서 론

고조파로 인한 피해와 사고를 경험한 전력회사나 고객은 고조파에 대한 인식하고 있으나 저압 배전계통에 공급하는 일반 고객 및 소규모 상가는 고조파에 대한 거의 인식하지 못하고 있다. 그러나 최근 국내에서 발생하는 고조파에 의한 문제들이 저압으로 공급되는 소규모 고객의 단상 부하에서 유출되는 영상분 고조파가 주요 원인인 것으로 추정되고 있어 저압 전기기기 및 저압 배전계통의 고조파 측정과 저압 전기기기의 고조파 방출 기준 시행으로 고조파 경감대책의 마련이 필요하다.

고조파를 억제하기 위해서 수용가 단위로 고조파 유출 제한치를 적용하는 것은 많은 비용과 인력을 필요로 하기 때문에 저압 배전계통에서 사용하는 전기기기는 제조 단계에서 고조파 허용 유출 제한치 이하가 되도록 저압 전기기기의 고조파 방출기준에 관련된 고조파 기준 마련이 필요하다.

국제무역의 기술장벽으로 대두되고 있는 WTO/TBT협정에 따른 국제 표준의 인증제도 변화에 능동적으로 대처하고 우리나라 산업기술의 선진화를 촉진시키기 위하여 고조파에 대한 한국산업규격(KS)을 IEC 국제규격과 부합화하여 호환성을 확보함으로써, 관련 제품의 수출입에 따른 통상마찰을 방지하고 국제표준화의 추진이 필요하다.

또한 2002. 7월부터 제조물 책임법이 시행됨에 따라 배전계통의 전기품질 저하로 인한 제품불량, 정보손실, 전기화재 등으로 재산상의 손해가 발생할 경우, 전기공급자인 당사의 손해배상에 따른 대응책 수립이 요구된다.

따라서 국내 배전계통의 전기품질을 제고하고 고품질 전력공급을 위해 고조파 발생의 주요원인으로 추정되는 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준의 수립하기 위해 IEC 국제기준의 해당 규격인 61000-3-2를 분석하였다. IEC 규격은 저압 전기기기를 특성에 따라 클래스별로 구분하여 고조파 유출을 규제하고 있으며 각 클래스별 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 W 이상)

2. 본 론

2.1 저압 배전계통 고조파 측정 및 DB 구축

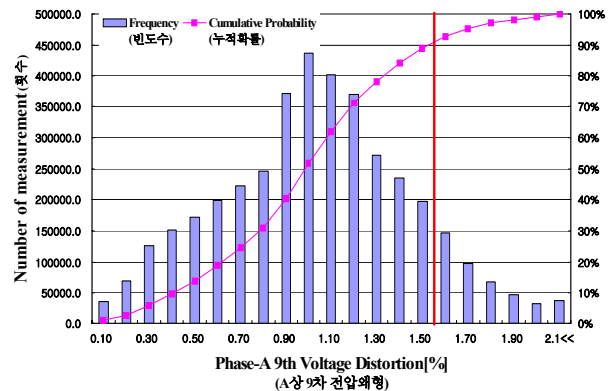
디지털 정보산업의 발달로 인해 비선형 부하의 사용이 점진적으로 증가하고 있어 전력계통에는 고조파로 인해 많은 장애들이 발생하고 있다. 이러한 고조파는 제품의 수명감소, 중성선 과열 그리고 각종 통신장비

및 계전기 오동작의 원인이 되고 있으며, 이러한 문제들은 수용가 또는 전력회사 각각의 문제가 아니고 서로 같이 해결해 나가야 할 문제로 전력회사의 고조파 방출기준을 근간으로 대책을 수립해 나가는 상호 협력이 필요하다.

합리적인 고조파 방출기준을 수립하기 위해 먼저 현 저압 배전계통의 고조파 현황의 측정 및 데이터베이스 구축이 필요하다. 현재 저압 배전계통을 공급하는 주상변압기의 수량은 184만대 이상으로 이를 모두 측정대상으로 선정하기는 곤란하다. 따라서 통계적 기법을 통해 무한 모집단을 가정하고 오차 0.2[%], 신뢰도 95[%], 표준편차 1.0[%]를 고려하여 측정개소를 선정하였다.

$$\text{측정개소 수} = \left(\frac{1.96 \cdot 0.01}{0.002} \right)^2 \approx 100$$

선정된 100개소 중 부하종류에 따라 주거용 39개소, 상업용 40개소, 공업용 21개소로 구분하여 1년간 저압 배전계통의 고조파를 측정하고 IEC 61000-3-6에 수록된 저압 배전계통(LV)의 적합성수준(Compatibility Level)과 비교 분석하였다. 분석결과 영상분에 해당하는 9차와 15차 고조파가 IEC에서 권고한 적합성수준을 초과하여 나타났다. 아래 그림 1은 9차 고조파의 누적 확률분포를 보이고 있다.



〈그림 1〉 9차 고조파의 누적 확률분포

2.2 국내 저압 전기기기의 고조파 발생량 조사

국내에서 생산 및 판매되는 저압 전기기기의 고조파 발생정도를 확인하기 위해 저압 전기기기를 IEC 국제규격에 따라 클래스별로 구분하고 고조파 발생량을 측정하였다. 전체 302개의 전기기기를 대상으로 측정을 위한 시험조건은 국내 전압과 동일한 220V/60Hz에서 각 전기기기에서 고조파가 최대 발생할 수 있는 조건에서 측정하였다. 측정시료의 구성은 실제 사용하고 있는 저압 전기기기의 구성비율과 유사하게 구성하였으며, 일반 가정용 전기기기에 해당하는 클래스 A군이 69.2%, 휴대용 전동공구에 해당하는 클래스 B군이 8.3%, 조명기구에 해당하는 클래스 C군이 14.2%, PC, TV에 해당하는 클래스 D군이 8.3%로 구성하였다.

각 클래스별로 보면 클래스 A군이 총 209개의 기기 중 26개의 기기가 불합격되었고, 불합격 판정된 냉장고의 경우 4차, 6차, 8차, 14차 고조파 성분이 초과하여 발생하였다. 클래스 B군에서는 25개의 기기가 모두 합격하였다. 클래스 C군은 총 43개의 기기 중 27개의 기기가 불합격 판정되었고, 불합격 판정을 받은 조명기구의 경우 10차, 13차, 21차, 23차 고조파 성분이 기준을 초과하였다. 클래스 D군은 총 25개의 기기 중 13개 기기가 불합격 판정되었으며, 이들은 모두 3차, 9차, 11차, 13차, 23차 고조파가 기준을 초과하였다.

<표 1> 측정 대상기기의 클래스별 합격률

	총 계	합격	불합격	합격률
클래스 A 등급	209	183	26	87.5 %
클래스 B 등급	25	25	0	100 %
클래스 C 등급	43	16	27	37.2 %
클래스 D 등급	25	12	13	48.0 %
계	302	236	66	78.1 %

2.3 저압 전기기기 고조파 유출제한 기준 연구

국제 전기기술기준을 대표하는 IEC에서는 저압 전기기기의 방출 제한을 위해 16[A]이하 저압 전기기기에 대해 부하특성에 따라 분류한 클래스별로 고조파 전류를 제한하고 있다.[1]

먼저 클래스 A에 해당하는 저압 전기기기의 고조파 방출 기준은 IEC 61000-3-6규격의 적합성 레벨(Compatibility Level)에서 제시한 각 고조파의 허용 전압왜곡률(기본파에 대한 백분율)에 따라 전기기기의 최대 방출전류가 결정된다.[2]

따라서 저압 전기기기의 허용방출전류(I_h)는 최대허용전압(U_h)과 저압 배전계통의 기준임피던스(Z_h)에 의해 계산된다.

$$I_h = \frac{U_h}{Z_h} [A]$$

각 고조파 차수별 최대허용전압은 허용 전압왜곡율과 저압 공칭전압의 곱으로 구할 수 있으며, IEC 국제규격에 규정된 차수별 최대허용전압은 아래의 표와 같다.

<표 2> 적합성 레벨에 따른 최대허용전압

차수(h)	3	5	7	9	11	13
허용 전압왜곡율(v_h , %)	0.85	0.65	0.60	0.40	0.40	0.30
최대허용전압(U_h)	1.96	1.50	1.38	0.92	0.92	0.69

또한 230V/50Hz 저압 배전계통의 기준임피던스는 IEC 60725에 $Z_{ref} = 0.4 + jh \cdot 0.25$ (Ω)으로 규정하고 있기 때문에 각 차수별 고조파 최대 허용방출전류는 아래와 같이 계산된다.[7]

<표 3> 클래스 A 등급 고조파 제한값

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

클래스 B에 해당하는 전기기기는 특성상 사용시간이 수 십초 또는 수 분정도로 짧고 사용수량이 작아 고조파 방출 허용전류를 높게 설정할 수 있기 때문에 클래스 A군 제한값에 150%값을 유출 제한값으로 규정하고 있다. 150%를 적용하는 근거로 IEC 61000-2-4 규격에서 전 관측 기간 중 짧은시간(15초)동안 동작하는 전기기기의 제한값은 장시간 사용기 한계값의 1.5배까지 허용하고 있기 때문인 것으로 판단된다.

클래스 C의 경우 대표되는 조명기기의 실제 방출 고조파 스펙트럼에 기초하였으며 클래스 B군 제한값을 적용기준의 최대전류(16[A])로 나누어 유출 제한값을 규정하였다.

<표 4> 클래스 C 등급 고조파 제한값

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

클래스 D에 속하는 전기기기의 경우 사용밀도가 높고 이용시간이 길기 때문에 클래스 A군 제한값에 해당 전기기기의 최대입력전력을 나눈 값을 제한값으로 규정하였다.

$$i_h = \frac{A\text{등급 한계값 } I_h(mA)}{\text{최대입력전력}(W)}$$

<표 5> 클래스 D 등급 고조파 제한값

차수(h)	3	5	7	9	11	13
I_h (mA/W)	3.40	1.90	1.00	0.50	0.35	0.30

3. 결 론

최근 국내에서 고조파에 의한 문제들이 발생하는 있으며 그 원인으로 저압으로 공급되는 소규모 고객의 단상 부하에서 유출되는 영상분 고조파가 원인으로 추정되고 있다.

국제무역의 기술장벽으로 대두되고 있는 WTO/TBT협정에 따른 국내 산업규격(KS)이 IEC 국제규격에 부합화하고 있으며, 고조파를 억제하기 위해 저압 배전계통에서 사용하는 전기기기는 제조 단계에서 고조파 허용 유출 제한치 이하가 되도록 저압 전기기기의 고조파 방출기준을 억제하는 것이 효과적이다.

국내 저압 배전계통의 고조파 발생현황을 조사한 결과 9차와 15차 고조파가 IEC 규격에서 권고한 적합성수준을 초과하여 나타났다. 또한 국내에서 양산되는 저압 전기기기의 고조파 발생량을 조사한 결과 클래스 B 등급을 제외하고 모두 IEC 제한기준을 초과하여 발생하였다.

따라서 본 논문에서는 국내 배전계통의 전기품질을 제고하고 고품질 전력공급을 위해 고조파 발생의 주요원인으로 추정되는 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준의 수립하기 위해 IEC 국제기준의 해당 규격인 61000-3-2를 정밀 분석하였다.

분석결과 클래스 A 등급의 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준은 저압계통의 기준임피던스와 허용 최대전압을 바탕으로 계산되었으며, 클래스 B 등급은 해당 전기기기의 특성을 반영하여 A 등급의 150%를 적용하여 허용 제한값을 산출하였으며, 클래스 C 등급은 조명기기의 실제 고조파 방출 스펙트럼에 기초하여 클래스 B 등급 제한값에 적용기준의 최대전류인 16[A]를 나누어 유출 제한값을 규정하고 있었다. 마지막으로 클래스 D 등급에 속하는 저압 전기기기는 사용밀도가 높고 이용시간이 긴 특징때문에 클래스 A군 제한값에 해당 전기기기의 최대입력전력을 나눈 값을 제한값으로 규정하였다.

본 연구결과는 국내 저압 배전계통의 기준임피던스를 바탕으로 국내 저압 전기기기의 고조파 유출제한 기준수립에 적용되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] IEC Std 61000-3-2, "Limits for harmonic current emissions (Equipment input current $\leq 16A$ per phase)", 2004
- [2] IEC TR 61000-3-6, "Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems - Basic EMC publication", 1996.
- [3] European Standard EN 50160, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", 2005
- [4] Engineering Recommendation G5/4, "Planning levels for harmonic voltage distortion and the connection on non-linear equipment to transmission systems and distribution networks in the United Kingdom", 2001
- [5] Barry W. Kennedy, "Power Quality Primer", McGraw-Hill, 2000
- [6] J. Arrillaga et al., "Power System Harmonics", John Wiley & Sons, 2003
- [7] 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