

국내 단상2선식 저압 배전계통 기준임피던스 선정에 관한 연구

(The Determination of Reference Impedance on 1P2W Low Voltage System in Korea)

강문호* · 송양희 · 이흥호

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

요 약

저압 배전계통에서 사용되는 가전제품에 의해 발생하는 전압변동 및 플리커현상을 관리하기 위해 유럽에서는 IEC 기준에 표준화된 시험방법을 규정하고 있다. 본 시험에서는 플리커의 제한치산출시 저압계통의 기준임피던스를 사용하고 있다. 그러나 IEC 기준의 기준임피던스는 230[V]/50[Hz]를 사용하는 저압 배전계통의 임피던스로 국내 저압 배전계통에 그 값을 직접 적용하는 것은 변압기 임피던스, 저압선 경간, 인입선 거리가 상이하기 때문에 불합리하다. 따라서 본 논문에서는 경제성과 확률이론을 바탕으로 국내 단상2선식(1P2W) 저압계통의 기준임피던스를 산정하였으며, 본 연구결과를 기준임피던스로 IEC TR 60725 Ed2에 게재하였다.

Abstract

Home appliances, like air-conditionals, washers, refrigerators, etc., can cause voltage fluctuations and light flicker. A standardized flicker test has been established in Europe (IEC 61000-3-3, IEC 61000-3-11). The supply impedance of power supply system varies from place to place, and for the flicker test in KOREA, the appliance manufacturers do need standardized impedance like the one indicated in IEC 61000-3-3 for 230[V]/50[Hz]. Without it, the same appliance will have different flicker level at different places. For appliance manufacturers, the flicker limit should be related to the reference impedance. However, the European flicker test is designed for 230[V]/50[Hz] power and needs to be modified for a 1P2W(220[V]/60[Hz]) supply system in KOREA. In this paper, the reference impedance for KOREA (220[V]/60[Hz]) systems is proposed. The measured result provided in this paper was served as a proposal for establishing KOREA reference impedance for 220[V]/60[Hz] and has been published in IEC 60725.

Key Words : Reference Impedance, System Impedance, Low Voltage System, IEC 60725

1. 서 론

* 주저자 : 전력연구원 배전품질안전그룹 선임연구원
Tel : 042-865-5924, Fax : 042-865-5904
E-mail : mhkang@kepco.co.kr
접수일자 : 2007년 6월 15일
1차심사 : 2007년 6월 18일
심사완료 : 2007년 7월 9일

기준 임피던스(Reference Impedance)란 각 수용가의 계통 임피던스를 조사하여, 그 결과에 근거하여 플리커 시험 등에서 동일한 기준으로 사용하기 위한 임피던스를 말한다. 플리커 현상은 수용가 전

원 공급지점에서의 전압강하에 기인하며, 이러한 전압강하는 옴의 법칙에 의해 한 수용가에 이르기까지의 계통 임피던스 혹은 공급 임피던스와 소비되는 전류의 곱으로 표현된다. 그러나 각 수용가들의 계통 임피던스는 변압기 임피던스, 저압선 경간, 인입선 거리 등에 따라 상이하기 때문에 특성시험 및 플리커 영향 평가를 위한 공통기준을 만들 필요성이 대두되었다.

따라서 IEC(국제 전기 표준 회의)에서는 1981년 유럽 각국의 계통 임피던스를 조사하고, 일부 국가들을 제외한 대부분의 국가에서 약 95[%]의 수용가가 갖는 계통 임피던스 값을 기준 임피던스라고 선정하게 되었다. 즉 95[%] 수용가는 기준 임피던스보다 작은 계통 임피던스를 갖고, 나머지 5[%] 수용가는 기준 임피던스보다 큰 계통 임피던스를 갖는다[1].

현재 플리커 한계 파라메타의 대부분은 상대 전압강하가 그 평가기준이 되며, 이러한 기준 임피던스가 높고 낮음은 바로 수용가의 전압강하에 비례한다. 따라서 기준 임피던스는 궁극적으로 플리커 기준을 적용할 때 그 평가값들을 결정하는 중요한 변수이며, 이는 국내 플리커 기준에서 한계값을 설정할 때 반드시 고려되어야 할 중요한 사안이다.

현재 IEC에서는 1981년도의 조사결과를 바탕으로 단상 2선식 220~240[V] 50[Hz] 환경의 기준 임피던스를 $0.4 + j 0.25[\Omega]$ 으로 설정하여 사용하고 있다[2]. 그러나 IEC에 설정된 기준 임피던스는 50[Hz] 주파수를 사용하는 국가를 적용대상으로 하고 있어 국내와 같이 60[Hz]를 전원 주파수로 사용하는 국가에서는 리액턴스 성분의 증가가 예상된다. 또한 전압강하 기준에 따라 전력회사는 수용가의 전력사용량 및 변압기로부터 수용가까지의 거리를 계산 후 최적의 전선 굵기를 결정하기 때문에 기준 임피던스는 전압변동 기준, 수용가의 전력사용량, 수용가와의 인입거리 및 전압 등 저압계통의 특성에 따라 각각 상이하게 나타날 수 있다. 이러한 기준 임피던스는 큰 전류를 사용하는 대용량 기기들에 대한 플리커 발생 제한에 대한 척도가 되며, 이를 통해 시험 임피던스 선정 등 매우 중요한 역할을 하게 된다. 현재 국내에는 기준 임피던스의 기준값이 없는 실정이며, 본 논문에서는 전원 주파수, 수용가의 전력사용량, 지역별

특성, 전원 및 부하의 특성을 고려하여 국내 단상 2선식 저압계통의 기준 임피던스를 선정하였다.

2. 기준임피던스 측정

2.1 기준 임피던스 측정 위치 선정

기준 임피던스를 선정하기 위해서는 전체 저압계통의 계통 임피던스의 조사가 선행되어야 한다. 이를 위해 수용가와 계통의 구분할 수 있는 정확한 측정위치를 선정하여야 한다.

$$Z_{sys} = Z_l + Z_c + Z_s \quad (1)$$

계통 임피던스란 위의 식과 같이 변압기 2차측 임피던스, 저압선 임피던스, 서비스 케이블 임피던스를 모두 합한 값으로 정의할 수 있다. 저압 배전선로에서 계통 임피던스를 구성하는 요소는 그림 1과 같다.

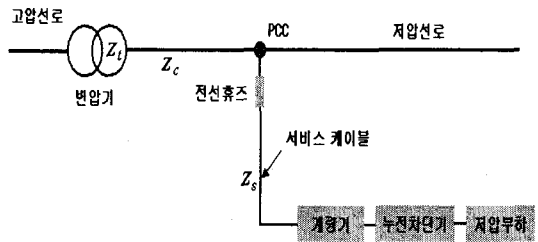


그림 1. 계통 임피던스 구성도
Fig. 1. The block diagram of system impedance

측정된 계통 임피던스가 복소수 성분을 가지므로 저항 성분과 리액턴스 성분으로 나누어 생각할 수 있다. 리액턴스 성분은 전형적인 케이블의 경우 2.5 [mm] 단면적을 가지기 때문에 인덕턴스 값이 미터당 $0.75[\mu H]$ 이므로 50[Hz] 환경에서 리액턴스 성분은 $0.00024[\Omega/m]$ 에 불과하여 전체적인 계통 임피던스 값에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.

그러나 가전기기들이 직접적으로 연계되는 공급 터미널(Supply Terminal)을 기준으로 할 경우 수용가 내부에서도 각각의 공급 터미널까지의 임피던스가 모두 다르고 전선의 공장을 정확히 파악하는 것 또한 매우 어려웠다. 본 연구 중 실제 수용가의 공급

터미널에서의 임피던스를 측정된 결과 무시하지 못할 정도의 큰 값이 측정되었다.

그러므로 각 수용가별로 독립적인 임피던스를 가지게 되는 지점을 선정하고 측정하여야 하기 때문에 통상적으로 수용가와 저압계통을 분리시킬 수 있는 누전차단기(ELB) 지점과 계량점(Metering Point) 중에서 선택하는 것이 가장 바람직하였다. 그러나 현장 측정은 수용가의 무작위 표본추출에 따라 측정을 하여야 하나 각 수용가의 협조가 어려워 수용가 내부에 있는 누전차단기 설치점에서 측정은 매우 어렵다. 따라서 전기수급 계약상 수용가와 전력계통을 구분하는 위치가 전력량계의 1차측인 것과 한국 전력공사의 협조만으로 측정이 가능하다는 점을 반영하여 기준 임피던스(Reference Impedance) 측정 위치는 전력량계(Metering Point) 1차측으로 선정하였다.

2.2 통계적 방법에 근거한 측정 개소수 산정[3]

본 연구에서는 국내의 기준임피던스를 파악하기 위한 방법으로 확률적 접근방식을 적용하여 측정개소수를 결정하였다. 따라서 국내의 저압계통에서 현재 운영되고 있는 전체 변압기의 대수를 기준으로 표본 오차 범위 내에 있도록 표본수를 계산하였다.

유한 모집단을 가지고 비복원 추출을 했을 경우 표본수 산정은 아래의 식과 같이 구할 수 있다.

$$n = \frac{N}{(N-1) \left(\frac{E}{Z_{\alpha/2} \cdot \sigma} \right)^2 + 1} \quad (2)$$

여기서 N과 σ 는 모집단과 표준편차이고, n과 E는 표본의 수와 오차이다.

일반적으로 과거의 경험이나 사전지식으로 표본의 표준편차를 알고 있지만, 본 연구에서 수행하는 측정은 국내에서 처음 수행하기 때문에 경험과 지식이 없는 상태이다. 이런 경우 통계학에서는 표본의 최대와 최소를 이용하여 대략적인 표준편차를 사용하도록 제시하고 있기 때문에 본 연구에서는 표준편차를 1[%]로 하였다. 또한 신뢰구간을 결정하는 오

차는 0.1[%]로 정하여 표본수를 계산하였다. 오차 0.1[%]는 표본의 평균이 3.0[%]일 때 신뢰구간이 2.9~3.1[%]라는 의미이다.

우선, 유한 모집단 비복원 추출의 경우, 오차 0.1[%], 신뢰도 95[%], 표준편차 1[%], 변압기 1,060,000대를 식에 대입하면 아래와 같은 표본수가 계산할 수 있다.

$$\frac{1,060,000}{(1,060,000 - 1) \left(\frac{0.001}{1.96 \cdot 0.01} \right)^2 + 1} \quad (3)$$

$$\approx \frac{1,060,000}{2760} = 384$$

일반적으로 사용하는 무한 모집단을 가정한 경우 표본수는 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\left(\frac{1.96 \cdot 0.01}{0.001} \right)^2 \approx 384 \quad (4)$$

따라서 0.1[%]의 오차와 신뢰도 95[%]를 유지하기 위해서는 384개소의 배전용 변압기에서 수전받는 수용가를 측정하여야 함을 알 수 있다. 또한 저압 배전계통 전체 수용가를 대상으로 적절한 표본수를 계산한 결과 역시 동일하게 384 수용가를 측정하여야 함을 확인하였다. 통계적 방법에 의해 선정된 384개소 측정지점을 선별하기 위하여 본 연구에서는 전국을 대상으로 600개소의 데이터를 선정하여 계산하였다.

표 1. 계산하기 위해 선정된 개소수
Table 1. Points to calculate system impedance

조사 유형					
주택용 고객		대규모 고객			
도심지	근교	도심지		근교	
		상업용	산업용	상업용	산업용
60	340	60	60	85	85

2.3 기준 임피던스 측정 장치

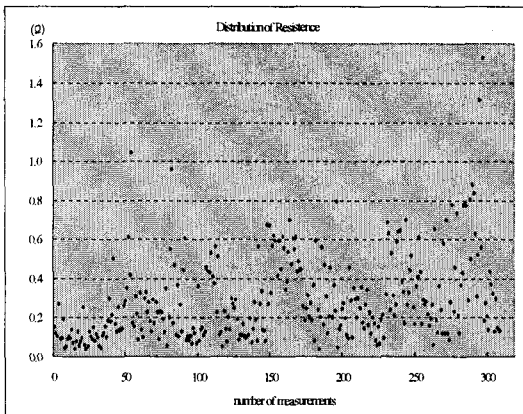
일반적으로 계통 임피던스 측정 장치들은 계통 임피던스 측정 장비는 내부에 가변 임피던스를 채용하고 있어, 순간적으로 폐회로를 만들 수 있다. 가변 임피던스가 순간적으로 0에 가까운 값을 가질 때 수용가 내부로 흐르는 전류는 거의 대부분 측정 장비로만 흐르게 되고 그 때의 전압과 전류의 비로써 측정 지점까지의 계통 임피던스를 계산할 수 있다.

본 연구에서는 국제적으로 사용되는 4가지 계통 임피던스 측정 장치를 조사한 후 유럽에서 널리 보급된 장비로 단상, 3상 측정이 모두 가능한 IMS2500

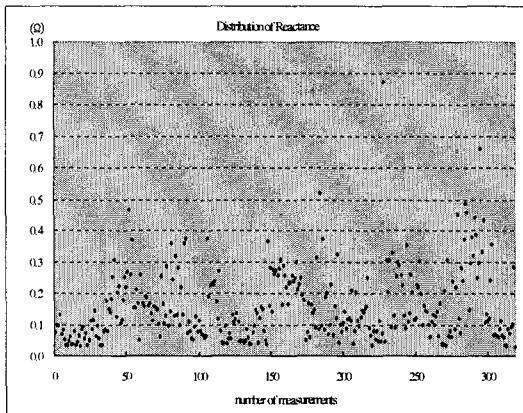
을 사용하여 측정하였다. 이 장비는 계통 임피던스를 저항성분과 리액턴스 성분으로 나누어서 표시하며, 50[Hz] 및 60[Hz] 전원 주파수에 모두 사용할 수 있으며, 오차 범위가 0.4[%]로 측정값을 저장하고 내부 통계분석을 통해 정확한 데이터를 제공하고 있다.

2.4 기준 임피던스 측정결과

자료취득이 편리한 측정개소와 낮은 기준임피던스가 산정되는 것을 방지하기 위하여 지역별 용도별 데이터 중 높은 개소를 선정하고 기준 임피던스 측정장치를 이용하여 저항성분, 리액턴스성분을 측정

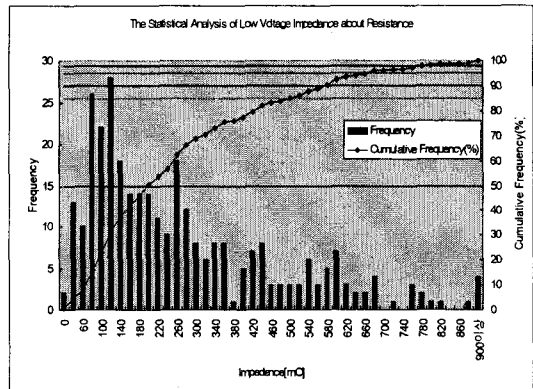


(a) The distribution map of resistance(R)

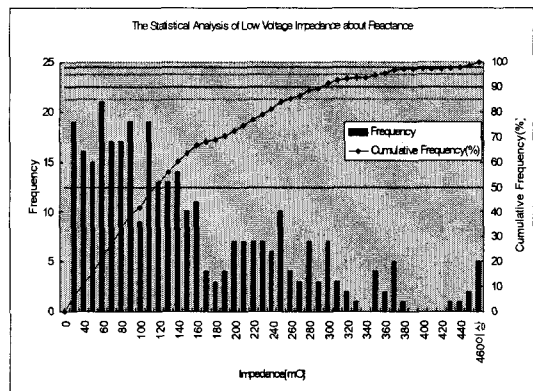


(b) The distribution map of reactance(X)

그림 2. 저항성분과 리액턴스성분의 분포도
Fig. 2. The distribution map of R and X component



(a) The accumulated distribution Chart of R



(b) The accumulated distribution Chart of X

그림 3. 저항성분과 리액턴스성분의 누적분포도
Fig. 3. The accumulated distribution Chart of R and X component

하였다. 측정된 각각의 임피던스 데이터에서 저항성분과 리액턴스성분의 분포를 확인하기 위해 아래의 그림 2에 각각에 대한 분포도를 나타내었다.

전체 측정데이터에서 저항성분과 리액턴스성분을 계산하고 이들 데이터를 이용하여 50[%] 임피던스 값, 90[%] 임피던스 값, 95[%] 임피던스 값 그리고 98[%] 임피던스 값을 구하기 위해 누적 분포도를 이용하였다. 전체 데이터에 대한 저항성분과 리액턴스성분의 누적분포도를 그림 3에 나타내었다.

최종 데이터의 저항성분 및 리액턴스성분에 대한 누적 분포도를 이용하여 전체 데이터에 대한 50[%], 90[%], 95[%] 및 98[%]의 저항성분과 리액턴스성분을 산출하고 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2. 저압계통 임피던스

Table 2. System Impedance of LV system

구 분	50[%]	90[%]	95[%]	98[%]
전압선	0.104+j0.062	0.295+j0.148	0.335+j0.184	0.403+j0.220
중성선	0.104+j0.062	0.295+j0.148	0.335+j0.184	0.403+j0.220
합 계	0.207+j0.124	0.589+j0.296	0.669+j0.367	0.805+j0.440

IEC에서는 수용가 전체가 갖는 계통 임피던스 값의 누적분포 95[%]를 기준 임피던스라고 선정하기 때문에 위의 표에서 보는 바와 같이 국내 저압 배전선로의 기준임피던스는 아래와 같이 선정되었다.

$$KOREA Z_{ref} = 0.669+j0.367[\Omega]$$

3. 결 론

저압 배전선로의 계통 임피던스는 국가별 전압강하 기준, 수용가의 전력사용량, 수용가의 거리 등에 차이가 있으나 플리커 및 고조파 관리를 위해 공통으로 적용할 기준 임피던스의 선정이 필요하다.

IEC에서는 유럽 각 국가의 계통 임피던스를 조사하고, 일부 국가들을 제외한 대부분의 국가에서 약 95[%]의 수용가가 갖는 계통 임피던스인 $0.4 + j0.25[\Omega]$ 를 기준 임피던스로 선정하여 적용하고 있다.

본 논문에서는 국내 수용가의 현황, 지역별 특성 등을 고려하여 통계적 기법에 따라 측정개소를 선정

하고 국내 단상 2선식 저압 배전계통의 기준 임피던스를 산정하였으며, 본 결과는 추후 저압 전기기기의 고조파 및 플리커 방출한계 계산에 활용될 예정이다.

References

- [1] N. H. Cho, Y. H. Song, et al., "The determination of reference impedance for a public LV power supply system and standardization of a flicker measurement method", Final term Report, KEPRI, 2005.
- [2] IEC TR 60725, "Consideration of reference impedance and public supply network impedance for use in determining disturbance characteristics of electrical equipment having a rated current $\leq 75A$ per phase", 2005.
- [3] N. H. Cho, H. H. Lee, et al., "The Study for the harmonic standard in distribution system", Final term Report, KEPRI, 2005.

◆ 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 (宋良會)

1957년 10월 1일생. 1981년 숭실대 전기공학과 졸업. 1984년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 산업자원부 기술표준원 전기전자표준팀 과장.

이흥호 (李興浩)

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