

국내 특고압 고객에 대한 IEC 61000-3-7 기반의 플리커 방출한계 평가 및 관리 방안 연구

Assessment and Management Method of Flicker Emission Level Based on IEC 61000-3-7 for Domestic Extra-high Voltage Customers

한수경* · 신훈철* · 박상호** · 김건중*** · 조수환†

(Su-Kyoung Han · Hoon-Chul Shin · Sang-Ho Park · Kern-Joong Kim · Soo-Hwan Cho)

Abstract - IEC 61000-3-7 provides guidance for limiting flicker and enabling the connection of fluctuating load installations, that is, producing flicker in MV, HV and EHV power systems. In Korea, the flicker have been restricted by Japanese standard of ΔV_{10} method. ΔV_{10} was developed only for arc furnaces in 1960's. And now it is revealed that it is not suitable for application to other fluctuating load installations through many researches. P_{st} which is a flicker index used in IEC 61000-3-7, indicates visual inconvenience due to voltage fluctuation across large range of frequency and can be applied to fluctuating load installations as well as arc furnaces. In this paper, we introduce how to calculate and assess flicker emission level for the individual fluctuating load installations connected in EHV system and how to manage the emission levels in the power system according to IEC 61000-3-7.

Key Words : Flicker, IEC 61000-3-7, Power quality, Emission level, Voltage fluctuation

1. 서론

IEC에서는 플리커를 휘도 또는 스펙트럼 분포가 시간에 따라 변동하는 광 자극에 의해 유발되는 시각적 불안정성에 대한 인지로 정의한다. 즉, 플리커란 지속적이고 주기적인 전압변동으로 인한 전등의 밝기 변화가 사람에게 미치는 시각적 심리적 불편함을 정량화한 것이다. 플리커의 인지 과정은 대형비선형부하의 기동에 의한 전압변동이 송배전계를 통해 인근 부하로 전달되어 인근 부하의 전력품질에 영향을 미치는 것으로, 특히 전등부하에 영향을 미쳐 전기사용자에게 시각적인 불편함을 주게 된다. 플리커는 정격전압의 10% 이내의 전압변동에 의해 발생하는 것으로, 전등부하(백열등)에 의한 시각적 불편함을 야기하기 때문에 순간 전압강하와 순간전압상승과 구분되어 더 정밀한 전력 품질을 관리할 수 있는 지표라 할 수 있다. 일반적으로 플리커의 평가에는 IEC 기준의 단기 플리커 심각도 지수인 P_{st} 와 장기 플리커 심각도 지수인 P_{lt} 가 함께 사용된다.

국내 플리커 관련 기준은 '송배전용 전기설비 이용규정', '분산형전원 배전계통 연계 기술기준' 및 '전력계통 신뢰도 및 전기품질

유지기준'에서 확인할 수 있다. '송배전용 전기설비 이용규정'의 경우, 별표 3에서 표 1과 같이 규정하고 있으며, '분산형전원 배전계통 연계 기술기준'에서는 플리커에 대해 "다른 전기사용자에게 시각적인 자극을 줄만한 플리커를 유발하는 전압요동을 발생시켜서는 안 된다."로, '전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준'에서는 "전기사업자는 플리커 허용치를 전력계통이 안정적으로 유지될 수 있도록 합리적으로 설정하여 운영하여야 한다."와 같이 규정하고 있다[1-3].

표 1 전압품질 허용 기준치

Table 1 Acceptance criterion of voltage quality

구분	허용 기준치	비고
예측계산시	2.5% 이하	최대전압 변동률로 표시
실측시	0.45%V 이하	ΔV_{10} 으로 표시하며 1시간 평균치임

표 1에 따르면 플리커는 ΔV_{10} 방식으로 측정되며, 측정된 값들의 1시간 평균치가 0.45%V 이하로 관리되도록 규정되어있다. 하지만 ΔV_{10} 에 대한 자세한 측정 방법과 허용 기준치의 산정 방법 및 기준에 대한 언급은 없으며, 플리커를 야기하는 부하에 대한 평가 및 관리 기준이 불분명하게 언급되고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 순간전압강하와 순간전압상승과 달리 주기적인 전압변동으로부터 일정 수준의 전력 품질을 유지하기 위해서는 플리커의 측정방법과 평가, 관리에 대한 기준을 명확히 할 필요가

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Sangmyung University, Korea.

E-mail: shcho@smu.ac.kr

* Dept. of Energy Grid, Sangmyung University, Korea.

** Korea Electric Power Research Institute, Korea.

***Dept. of Electrical Engineering, Chungnam National University, Korea.

Received : September 1, 2017; Accepted : December 14, 2017

있다. IEC에서는 플리커 측정과 관련된 내용을 61000-4-15에, 플리커의 평가 및 관리에 대한 내용을 61000-3-7에서 언급하고 있으며, 선행연구를 통해 플리커 측정 방법과 알고리즘에 대한 검증은 수행한 바 있다[4-6]. 본 논문에서는 현재 ΔV_{10} 에 기반한 플리커 평가 및 관리에 대한 문제점을 언급하고, IEC 표준을 토대로 변동부하설비의 플리커 방출수준 산정 방법을 수립하여 특고압 직거래고객을 대상으로 방출수준을 산정해 플리커를 평가 및 관리하는 방법에 대해 소개하고자 한다.

2. ΔV_{10} 기반 플리커 평가 및 관리 방법

일본의 플리커 지표인 ΔV_{10} 은 1960년 아크로에 의한 플리커 장애에 대한 연구가 실행되면서 만들어진 것으로, 일본전력중앙연구소(CRIEPI)가 개발한 플리커미터 지시치에 깜빡임 시감도 계수를 곱한 것이다. 과거 일본의 경우, 플리커에 대한 표준측정법이 개발되지 않아 각 전력회사별로 ΔV_T (도교 전력), ΔV_N (쉐고쿠 전력) 등 서로 다른 플리커 지표를 사용하고 있었으며, 실험을 통해 각 회사의 플리커 지표를 ΔV_{10} 으로 환산하여 사용하게 되었다. 측정 알고리즘은 다르나 관리 기준을 통일시키기 위해 CRIEPI는 각 전력회사의 측정 장비를 가지고 동일한 실험을 수행하였다. 이 실험은 아크로에 의해 발생하는 실제 전압 변동 신호를 이용해 랜덤으로 4개 글자를 지우는 과정에서 느껴지는 깜빡임을 4단계(깜빡임이 심함, 깜빡임 발생, 깜빡임일 발생한 것으로 느껴짐, 깜빡임 미발생) 중 선택하는 방법으로 진행되었으며, 그 결과 F_2 (깜빡임 발생과 깜빡임이 심함 비율을 합산하여 만들어진 인식률 곡선)에서 인식률이 50%에 해당하는 %0.45V 전압 변동률을 관리 기준으로 제시하였다. 현재 우리나라에서도 이 값을 플리커 허용 기준으로 사용하고 있다.

개발 경위에서도 알 수 있듯이 ΔV_{10} 은 아크로에 한정된 평가 방법으로 각종 주파수 성분을 갖는 전압변동을 깜빡임 시각감도에 따라 10Hz 정현파 변동으로 등가 환산한 것이다. 따라서 용접기, 풍력발전 등과 같이 아크로와 다른 요인으로 발생하는 플리커와 정현파 이외의 전압변동에 대해 ΔV_{10} 방법을 적용하는 것에는 무리가 있다고 말할 수 있다. 또한 표준장비가 아닌 서로 다른 측정 장비를 이용하여 산정한 결과이기 때문에 정확하지 않다. 따라서 주파수 전역의 단계적인 전압 변화에 의한 깜빡임을 통계 처리한 지표인 P_{st} 를 도입하여 플리커를 평가하고 관리하는 것이 필요하다[7-8].

3. IEC 기반 플리커 평가 및 관리 방법

3.1 전압 변동에 관한 IEC 전자기적합성(EMC, Electro-Magnetic Compatibility)

IEC 61000-3-7은 전체 시스템의 적합성기준을 만족시키는 동시에 변동부하설비가 계통에 연계되기 위한 플리커의 평가 및 관리 기준을 자세히 소개하고 있다. 일반적으로 전력 시스템은 다양한 전압레벨로 구성되어 있으며, 시스템의 전력품질 특히 전압

변동을 일정수준으로 유지하기 위해서는 각 전압레벨 별로 플리커 방출수준을 조절하여 최하위 계통에서의 적합성기준을 만족시킬 수 있어야 한다. 이를 위해 특정 전압레벨에서의 플리커 방출의 계획수준을 설정하고, 해당 계획수준을 기준으로 개별 변동부하설비의 방출수준을 결정하도록 권고하고 있다.

3.1.1 적합성수준(Compatibility level)

적합성수준(Compatibility level)이란 시스템에 포함되는 구성 요소(장비)들의 전자기 외란의 방출수준(Emission level) 및 내성수준(Immunity level)을 조정함으로써 시스템은 물론 해당 시스템에 연계된 모든 장비의 EMC(전자기 적합성수준)를 보장하기 위한 것으로, 일반적으로 95% 수준의 확률값을 사용한다. 실시간으로 모든 지점에 대해 플리커 방출치를 운영자가 제어할 수 없기 때문에 적합성수준에 대한 평가는 시스템 차원에서 이루어진다. 따라서 특정 위치에서의 평가를 위한 방법이 아닌 전체 시스템을 평가하기 위한 것이다. IEC에서는 LV(Low Voltage, 120V 혹은 230V)에서의 플리커 적합성수준을 제시하는데, 이는 계통 내의 잠재적인 플리커 영향이 LV 모선에 직접 연계된 주거용 고객(특히 조명부하)에게 미치지 때문이다[9]. IEC에서 제안하는 플리커의 적합성수준은 표 2와 같으며, 이는 해당 수준 이하로 관리되어야 전압변동에 의한 고객들의 불편이 없음을 의미한다.

표 2 LV에서의 적합성수준

Table 2 Compatibility level in low voltage system

구분	적합성수준
P_{st}	1.0
P_{lt}	0.8

3.1.2 계획수준(Planning level)

계획수준이란 시스템 내의 모든 변동설비들의 개별 방출 한계치를 결정할 때 사용되는 기준으로, 각 전압레벨에서 관리하고자 하는 전압변동의 수준을 의미한다. 또한 계획수준을 지정하기 위해서는 서로 다른 전압레벨 간의 전달계수가 필요하고 다양한 상황에 맞는 전달계수를 평가해야 한다. IEC 61000-3-7에서 제공하는 계획수준의 기준값은 표 3과 같으며, 이 값은 MV, HV/EHV와 LV 간의 전달계수를 1로 가정하여 구한 값으로 시스템의 구조 및 환경에 따라 달라질 수 있다.

표 3 계획수준 기준

Table 3 Indicative values of planning level

구분	계획수준	
	MV	HV/EHV
P_{st}	0.9	0.8
P_{lt}	0.7	0.6

실제 플리커레벨과 계획수준을 비교하기 위한 플리커 측정 기간은 정상적인 운전 조건하에서 최소 일주일이며, 1) 일주일 측

정 P_{st} 값 중 95% 확률에 해당하는 값, 2) 일주일 측정 P_{st} 값 중 99% 확률에 해당하는 값, 3) 일주일 측정 P_{st} 값 중 95% 확률에 해당하는 값 중 하나를 선택해서 사용한다. 계획수준에 부합하는 지에 대한 판단기준은 95% 확률값을 사용할 경우 계획수준을 초과할 수 없으며, 99% 확률값을 사용할 경우 계획수준의 1.5배를 초과할 수 없다.

3.1.3 방출수준(Emission level)

IEC에서 권장하는 개별부하에 대한 방출수준의 설정은 계획수준을 기준으로 하여 계획수준에서 사용한 지수를 동일하게 사용하여야 한다. 실제 방출수준과 방출치 제한값을 비교하기 위해서는 최소 일주일의 측정 기간이 필요하다. 측정 기간 중에 P_{st} 와 P_{lit} 값이 산출되며, 95% 확률 수준의 P_{st} , 99% 확률 수준의 P_{st} , 95% 확률 수준의 P_{lit} 값 중 하나 이상을 선택하여 방출치 제한값과 비교한다. 방출수준과 부합되는 판단기준은 95% P_{st} 의 경우 $E_{P_{st}}$, 99% P_{st} 의 경우 $E_{P_{st}}$ 의 1.5배, 95% P_{lit} 의 경우 $E_{P_{lit}}$ 값을 넘을 수 없다. 방출수준의 평가지점은 POE(Point Of Evaluation)에서 평가되는데 PCC(Point of Common-Coupling) 또는 POC(Point Of Connection) 지점일 수 있으며, 계획수준이 정의된 지점일 수 있다.

3.2 IEC 표준에 따른 플리커 방출한계값(Emission Limit) 산정 방법

IEC 61000-3-7에 따르면 플리커 방출한계값의 산정방법을 3 단계로 구분하고 있다. 첫 번째 단계(Stage 1)는 소형 설비에 대한 간략화한 평가 방법으로, 분당 전압 변동 횟수에 따른 피상 전력의 변동률이 표 4에서 제시한 값을 초과하지 않는 경우라면, 해당 소형 설비에 의한 플리커 방출 수준이 시스템의 전력품질에 영향을 미치지 않는다고 판단할 수 있다.

표 4 분당 전압 변동 횟수에 따른 피상 전력의 변동률 허용 상한

Table 4 Variation limits of apparent power for the number of changes per minute

분당 전압 변동 횟수	피상 전력의 변동률 ($(\Delta S/S_c)_{max}$), %
200회 초과	0.1
10회 이상 200회 이하	0.2
10회 미만	0.4

두 번째 단계(Stage 2)는 대부분의 시스템에 해당되는 평가 방법으로, 전달계수와 동시계수 그리고 전체기여분에 의해 플리커 방출한계값을 결정한다. 전체기여분(Global Contribution)은 상위 계통 혹은 인근 계통에서 유입을 제외한 해당 모선에서의 허용 가능한 정도를 의미하며, 설비가 연계된 시스템의 총 용량에 대한 개별 설비용량 비율에 따라 분배된다. IEC에서는 개별 변동부하설비에 대한 플리커 방출한계값의 설정하는 방법을 MV

와 HV/EHV 전압레벨로 나누어 설명하고 있으나, 두 전압레벨에서 방출한계값 산정방법은 유사하므로 본 논문에서는 MV기준으로 설명한다. 개별 플리커 방출한계값을 설정하기 위한 첫 번째 단계는 MV 전압레벨의 전체기여분인 $G_{P_{st}MV}$ 를 결정하는 것이다. MV에서의 플리커 계획수준($L_{P_{st}MV}$)은 변압기로 연계된 HV/EHV 및 LV로부터 유입되는 플리커까지 포함된 수준인데, 전압레벨이 높아질수록 고장용량이 증가하는 반면 전압변동이 동시에 일어날 확률이 줄어들기 때문에 LV 전압레벨에서 발생하는 플리커는 MV 전압레벨에서 무시할 수 있는 수준이라 말할 수 있다. 따라서 MV의 플리커 계획수준은 전달계수($T_{P_{st}UM}$)를 통해 전달되는 HV/EHV의 플리커 계획수준($L_{P_{st}US}$)과 해당 MV 모선에서의 전체기여분만 고려해지면 된다. 식 (1)은 MV 전압레벨에서의 플리커 계획수준에 대한 식이며, 전체기여분을 기준으로 식 (1)을 변형하면 식 (2)와 같다. 이 때 전달계수는 1보다 같거나 작은 값을 가진다. α 는 플리커 발생의 동시성관 관련된 계수로 일반적으로 3이 사용된다. 즉, 숫자가 커질수록 변동부하설비의 전압변동이 동시에 발생할 확률이 낮아지고, 숫자가 작아질수록(1에 가까울수록) 전압변동이 동시에 발생할 확률이 높아지며, 수학적으로는 노름(Norm)의 의미를 갖는다. 즉, $\alpha=1$ 인 경우, 개별 변동부하설비의 전압변동이 동시에 발생할 확률이 100%임을 의미한다.

$$L_{P_{st}MV} = \sqrt[\alpha]{G_{P_{st}MV} + T_{P_{st}UM}^\alpha \times L_{P_{st}US}^\alpha} \quad (1)$$

$$G_{P_{st}MV} = \sqrt[\alpha]{L_{P_{st}MV}^\alpha - T_{P_{st}UM}^\alpha \times L_{P_{st}US}^\alpha} \quad (2)$$

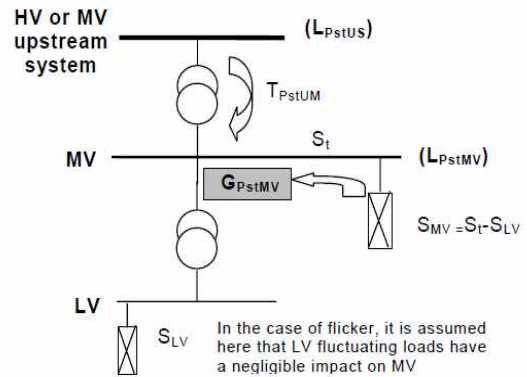


그림 1 IEC MV 전압레벨의 전체기여분 개념도[5]

Fig. 1 Example of global contributions at MV in IEC[5]

식 (2)에서 구해진 전체기여분과 식 (3)을 통해 개별 변동부하설비에 대한 플리커 방출한계값($E_{P_{st}}$)을 구할 수 있다. S_i 는 MV에서의 i 번째 개별 변동부하설비의 용량, S_MV 는 MV, HV/EHV 및 LV에서의 총 변동부하설비 용량, S_{LV} 는 하위 전압레벨의 총 용량을 의미한다. 식 (3)에서 총 변동부하설비에서 하위 전압레벨의 용량을 빼는 이유는 계통용량이 증가함에 따라 하위 계통에서 발생하는 플리커가 상위 전압레벨에 미치는 영향은 무시할 수 있기 때문이다.

$$E_{Psti} = G_{PstMv} \times \sqrt{\frac{S_i}{(S_i - S_{LV})}} \quad (3)$$

변동부하설비의 용량이 해당 계통의 총 용량에 비해 상대적으로 작은 경우, 식 (3)에 의해 비현실적으로 낮은 플리커 방출한계값이 산정될 수 있으므로, 이 경우에는 표 5에서 제시한 값(최소 방출한계값)으로 방출치를 제한한다. 즉, 식 (3)에 의해 계산된 플리커 방출한계값이 0.35보다 낮을 경우, 방출한계값을 0.35로 설정한다.

표 5 최소 방출치 제한값

Table 5 Minimum emission level limits

E_{Psti}	E_{Pti}
0.35	0.25

세 번째 단계(Stage 3)는 두 번째 단계에서 산정된 방출한계값을 초과하여 플리커가 방출될 수 있도록 허용하는 경우에 대한 것이다. 특정 조건에 대해 계통운영자와 수용가 사이의 협의를 통해 방출한계값을 초과하는 것을 허용하기도 하지만, 이는 일반적이지 않기 때문에 본 논문에서는 고려하지 않는다.

3.3 IEC 61000-3-7의 국내 적용 방안

계통 내 전압변동을 일으키는 부하는 주로 전기아크로와 대형 용접기와 같이 전류의 소비가 순간적으로 급변하는 전기설비이므로 일반 가정과 같이 저압 계통(220V)이 아닌 특고압 선로(7kV 이상)에 연결되어 있을 가능성이 크다. 따라서 본 논문에서는 특고압 직거래 고객을 대상으로 개별 플리커 방출한계값을 설정하고 계통의 전압변동을 평가, 관리하기 위한 방안을 IEC 61000-3-7의 두 번째 단계(Stage 2)를 기반으로 소개하고자 한다. 표 6은 IEC와 우리나라의 전압레벨을 비교하여 보여준다. 우리나라에서는 전압레벨을 저압, 고압, 특고압 3가지로 구분되며, 220V, 380V는 저압(우리나라), LV(IEC)에 속하고, 6.6kV는 고압, MV에 22.9kV는 초고압, MV, 154kV는 초고압, HV, 345kV와 765kV는 초고압, EHV에 속한다. 결국 본 논문에서 고려하는 특고압 직거래 고객의 경우 IEC의 HV/EHV에 해당한다.

표 6 IEC와의 전압레벨 비교

Table 6 Voltage level comparison with IEC

전압레벨	IEC	우리나라
low voltage (LV)	1kV 이하	0.6kV 이하
medium voltage (MV)	1kV 초과 35kV 이하	-
high voltage (HV)	35kV 초과 230kV 이하	0.6kV 초과 7kV 이하
extra high voltage (EHV)	230kV 초과	7kV 초과

154kV 및 345kV 특고압 직거래 고객은 총 453개소로 전력 계통으로부터 수전, 발전 및 수전과 발전을 동시에 하는 고객으로 구성되어 있다. 이 때 수전과 발전을 동시에 하는 고객은 플리커 방출 제한이 필요한 고객으로 분류되나, 플리커 방출한계값 산정 시에는 수전용량만 고려한다. 즉, 수전 고객 및 발전 고객 구분 없이 수전을 받는 고객은 모두 플리커 방출한계값을 산정하여 관리해주어야 한다는 것이다. 따라서 본 논문에서는 453개소의 고객 중 수전을 받지 않는 고객 1개소를 제외한 452개소 고객에 대한 플리커 방출한계값을 산정하고자 한다. 표 3과 표 5의 IEC 기준을 참고하여 전달계수($T_{PstUEHV}$), 상위 전압레벨의 계획수준(L_{PstUV}) 및 특고압 전압레벨에서의 계획수준(L_{PstEHV})을 설정한다. 특고압 전압레벨의 상위는 송전단으로 상위 모선과 변압기가 존재하지 않기 때문에 $L_{PstUV} = 0$, $T_{PstUEHV} = 1$ 로 설정하고, 전달계수 1에 의한 특고압 전압레벨의 계획수준은 HV/EHV의 기준값인 $L_{PstEHV} = 0.8$ 을 사용한다. 각 계수를 아래의 식 (4), (5)에 대입하여 풀면 특고압 전압레벨에서의 전체기여분(G_{PstEHV})은 0.8로 결정된다. 특고압 전압레벨에서의 전체기여분을 산정하기 위한 각 계수들의 의미는 그림 2를 통해 확인할 수 있다.

$$G_{PstEHV} = \sqrt[3]{L_{PstEHV}^3 - T_{PstEHV}^3 \times L_{PstUV}^3} = \sqrt[3]{0.8^3 - 1^3 \times 0^3} \quad (4)$$

$$G_{PstEHV} = L_{PstEHV} = 0.8 \quad (5)$$

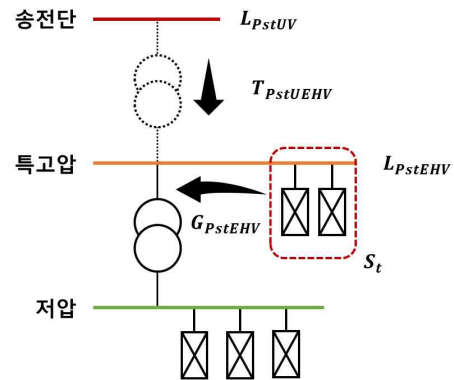


그림 2 특고압레벨에서의 전체기여분 산정

Fig. 2 Example of global contributions at MV in IEC

4. IEC 기반의 국내 플리커 방출한계값 산정 방안의 예시

IEC 표준에 따르면 위에서 결정된 전체기여분을 식 (3)과 같이 각 고객의 계약용량별로 분배해야 하나, 각 변동부하설비별로 다른 방출한계값을 설정하여 평가, 관리하는 것은 우리나라의 실정에서 실질적으로 불가능하다. 따라서 전체 고객을 몇 개의 그룹으로 분류하여 각 그룹 별로 특정 한계값을 제시함으로써 플리

커 방출수준을 관리하는 방안이 필요하다. 전체 고객을 그룹으로 나누는 방법으로 (1) 고객별 용량에 따른 분류, (2) 모선별 연계된 고객 수에 따른 분류, 그리고 (3) 모선별 용량비율에 따른 분류 이렇게 3가지를 제안하며, 각 방법에 따라 방출한계값을 산정한 후 그 결과를 비교하여 가장 합리적인 방법을 선택한다.

4.1 고객별 용량에 따른 방출한계값 산정

총 452개의 전체 고객의 최대, 최소 계약용량은 각각 2,000 MVA와 0.3MVA이며, 고객들의 계약용량 대비 상위, 하위 약 30%를 기준으로 3 그룹으로 구분하여 플리커 방출한계값을 산정하였다.

표 7 전체 고객 용량 범위에 따른 방출한계값 산정

Table 7 Emission limits with capacity range for all customers

그룹	실제용량 기준 (MVA)		방출한계값 (E_{Pst})		전체 고객 수
	최소	최대	최소	최대	
1	90	2,000	0.346	0.8	131
2	35	90	0.204	0.8	175
3	0	35	0.182	0.8	146

표 8 단일고객을 제외한 용량 범위에 따른 방출한계값 산정

Table 8 Emission limits with capacity range for excluding single customers

그룹	실제용량 기준 (MVA)		방출한계값 (E_{Pst})		단일고객제외 고객 수
	최소	최대	최소	최대	
1	90	2,000	0.346	0.791	98
2	35	90	0.204	0.761	117
3	0	35	0.182	0.722	91

표 7은 전체 고객을 대상으로 계산한 최대/최소 방출한계값을 의미하며, 표 8은 모선에 연결된 단일고객을 제외하고 한 모선에 다수의 고객이 연계된 경우에 한해 최대/최소 방출한계값을 산정한 것이다. 계약용량의 크기에 상관없이 모선에 단일 고객만 연계되어 있다면, 식 (3)의 용량비율이 1이 되어 방출수준이 전체기여분과 같아지기 때문에 항상 방출수준이 0.8이 된다. 따라서 표 7의 최대 방출수준은 0.8로 고정되며, 단일고객을 제외한 결과인 표 8도 같이 확인할 필요가 있다.

계약용량에 따라 방출한계값을 결정할 경우, 방출한계값이 최소 방출한계값 이하로 계산되는 고객까지 0.7이상의 방출한계값으로 설정되며, 실제에 비해 2배 이상의 방출한계가 설정되는 것은 평가 및 관리 수준이 과대하게 느슨하다는 것을 의미한다. 또한, 0.35이하의 방출한계값으로 계산될 경우, 0.35의 최소 방출한계를 설정해야한다는 IEC표준의 제시 기준에 맞지 않는다. 따라서 용량을 기준으로 플리커 방출수준을 설정하는 것은 부적합하

다는 것을 알 수 있다.

4.2 모선별 고객 수에 따른 방출한계값 산정

모선에 연계된 직거래 고객 수에 따라 3가지 그룹으로 나눈다. 하나의 모선에 연계된 고객 수는 최대 13개소로 표 9와 표 10과 같이 3개의 그룹으로 나누었다. 그 결과 모선에 연계된 고객 수가 작을수록 모선의 총 용량에 대한 개별 고객의 용량이 고객 수에 반비례하여 방출한계의 최대값이 증가한다는 것을 알 수 있었다. 하지만 한 모선의 총 용량과 연계된 고객의 용량 비율이 상이해 방출한계의 최소값은 모선에 연계된 고객 수와 관련성이 적었다. 또한 표 9와 표 10의 방출한계의 최소값이 0.35보다 작은 고객은 IEC 표준에서 제시하고 있는 방출한계 최소값인 0.35로 관리되어야 하는데, 이 경우에는 방출한계의 최대값으로 관리되어 방출수준을 설정하는 의미가 없어진다.

표 9 모선별 고객 수에 따른 방출한계값 산정

Table 9 Emission limits with the number of customers per bus for all customers

그룹	모선 별 고객 수		방출한계값 (E_{Pst})		전체 고객 수
	최소	최대	최소	최대	
1	10	15	0.214	0.472	13
2	5	10	0.182	0.706	62
3	0	5	0.199	0.8	377

표 10 단일고객을 제외한 모선 별 고객 수에 따른 방출한계값 산정

Table 10 Emission limits with the number of customers per bus for excluding single customers

그룹	모선 별 고객 수		방출한계값 (E_{Pst})		단일고객제외 고객 수
	최소	최대	최소	최대	
1	10	15	0.214	0.472	13
2	5	10	0.182	0.706	62
3	0	5	0.199	0.791	231

4.3 모선별 계약용량 비율에 따른 방출한계값 산정

위의 4.1과 4.2에서는 개별 고객에 대한 방출한계값을 계산한 후, 모선별 총 용량을 고려하지 않고 용량별 혹은 모선별 고객 수에 따라 방출수준을 결정하였다. 4.3에서는 개별 고객의 방출한계값과 모선별 변동부하설비(개별고객)의 용량 비율을 계산하고, 계산된 비율을 기준으로 3개의 그룹으로 나누었다.

그룹 3의 비율은 가장 많은 부하가 연계된 모선(13개의 부하)에 동일한 용량의 부하가 연계되었다고는 가정 하에 부하의 용량 비율로 결정하였다. 그룹 2의 최대 비율은 단일고객 모선을 제외

하고 부하가 가장 많이 연계된 모선 2개를 선택하여 같은 용량의 부하가 연계되었을 때의 이상적 부하 용량 비율과 각 모선이 차지하는 비율을 곱한 후 합산한 값으로 설정하였으며, 그 결과는 표 11과 표 12를 통해 알 수 있다. 결과적으로 특정 모선에 여러 개의 변동부하설비가 연계되어 있는 경우, 개별 고객의 용량이 해당모선의 총 용량에 대비하여 45%를 초과하는 고객에 대해서는 0.8, 8%~45%인 고객에 대해서는 0.61, 그리고 8% 이하인 고객에 대해서는 0.35로 방출한계값을 산정하는 것이 가장 합리적임을 보여준다.

표 11 전체 고객 용량 비율에 따른 방출한계값 산정

Table 11 Emission limits with capacity ratio for all customers

그룹	비율(%)		방출한계값 (E_{Pst})		실제 용량 (MVA)		전체 고객 수
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
1	45	100	0.61	0.8	0.3	2,000	224
2	8	45	0.35	0.61	4.92	635	173
3	0	8	0.18	0.34	6.3	90	55

표 12 단일고객을 제외한 용량 비율에 따른 방출한계값 산정

Table 12 Emission limits with capacity ratio for excluding single customers

그룹	비율(%)		방출한계값 (E_{Pst})		실제 용량 (MVA)		단일고객 제외 고객 수
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
1	45	97	0.61	0.79	20	2,000	78
2	8	45	0.35	0.61	4.92	635	173
3	0	8	0.18	0.34	6.3	90	55

5. 결 론

현재 우리나라에서는 일본의 ΔV_{10} 을 기준으로 플리커 허용 기준치를 제공하고 있지만, 평가 및 관리의 활용방안이 구체적이지 않으며, 지수의 특성상 ΔV_{10} 은 아크로에 한정된 평가방법으로 다양한 변동부하설비에 의해 발생하는 플리커에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 IEC에서 제공하는 플리커 평가 및 관리 기준인 IEC 61000-3-7을 기준으로 국내 실정에 맞는 플리커 방출한계값을 설정하여 관리해야 한다.

대용량의 변동부하설비는 일반적으로 저압이 아닌 특고압계통에 연계되어 있기 때문에 본 논문에서는 특고압 직거래 고객을 대상으로 IEC 표준 기반의 플리커 방출한계값 산정 방안을 제안하였다. 평가 및 관리의 편리성을 위해 용량에 따른 분류, 모선별 고객 수에 따른 분류, 모선별 용량 비율에 따라 3가지 그룹으로 나누었다. 용량에 따른 분류 기준을 적용한 경우, 모선에 연계된 개별 부하의 용량이 서로 다르고, 모선별로 부하 구성이 다양하여 같은 용량이라 하더라도 연계된 모선에 따라 방출한계값이 상

이하게 선정되었다. 또한 실제 계산된 방출한계값이 0.35보다 낮아 IEC 표준에서 제시하고 있는 방출한계 최소값인 0.35로 관리되어야 할 고객에 대해 2배 이상의 방출수준으로 관리될 가능성이 커짐을 알 수 있었다. 모선별 고객 수에 따른 분류 방법의 경우, 모선에 연계되는 고객 수와 방출한계의 최대값이 반비례하지만, 최소값의 경우 모선에 연계되는 고객의 용량이 상이하여 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 실제 계산된 방출한계값이 0.35보다 낮아 IEC 표준에서 제시하고 있는 방출한계 최소값인 0.35로 관리되어야 할 고객들이 0.4 이상의 방출수준으로 관리될 수 있음을 알 수 있었다. 마지막으로 모선별 용량 비율에 따른 분류 방법의 경우, 다른 모선에 연계되더라도 모선의 총 용량 대비 개별 고객의 용량 비율이 같다면 유사한 방출수준을 갖는다는 것을 알 수 있었다. 따라서 IEC 61000-3-7의 플리커 평가 및 관리기준을 우리나라에 적용하기 위해서는, 다수의 변동부하설비가 연계되어 있는 모선에 대해 개별 고객의 용량이 해당모선의 총 용량에 대비하여 45%를 초과하는 경우에는 0.8, 8%~45%인 경우에는 0.61, 그리고 8% 이하인 경우에는 0.35의 방출한계값을 갖는 것이 가장 합리적임을 보여준다.

감사의 글

본 연구는 한국전력공사 전력연구원의 지원(과제명: 송변전 계통 플리커 관리 방안 수립)을 받아 수행한 연구과제입니다.

References

- [1] "Transmission and distribution electrical equipment provision of use", KEPCO, 2013.
- [2] "Distributed power distribution system connection technology standard", KEPCO, 2015.
- [3] "Power system reliability and electricity quality maintenance standard", Ministry of Trade, Industry and Energy, 2012.
- [4] "IEC 61000-4-15 Ed.2, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4: Testing and measurement techniques - Section 15: Flickermeter - Functional and design specifications", IEC, 2009.
- [5] "IEC 61000-3-7 Ed.2, Electromagnetic compatibility (EMC) - Assessment of emission limits for the connection of fluctuating load installations to MV, HV and EHV power systems", IEC, 2008.
- [6] Hoon-Chul Shin, Su-Kyoung Han, Sang-Ho Park, Kern-Joong Kim and Soo-Hwan Cho, "Implementation and Performance Evaluation of Digital Flickermeter Algorithm According to IEC61000-4-15 Edition 2 for Korean Distribution Power System", The transactions of the

Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 20, No. 7, pp. 1017-1024, 2017.

- [7] "Problems of estimation technique of voltage fluctuation and research subjects - Comparison between ΔV_{10} meter and IEC flicker meter-", CRIEPI, 2012.
- [8] Moon-Ho Kang and Heung-Ho Lee, "A Study on Flicker Management Standard for Distribution Power System in Korea based on IEC 61000-3-7", The transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 60, No. 9, pp. 1663-1667, 2011.
- [9] Randy horton and Timothy A. TimHaskew, "Effect of Transfer Coefficients on MV and LV Flicker Levels", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 26, No. 2, pp. 632-639, 2011.

저 자 소 개



김 건 중 (Kern-Joong Kim)

1953 2월 12일생. 1975년 서울대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1977년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1985년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 충남대학교 전기공학과 교수.
Tel : 042-821-5659
E-mail : kjkim@cnu.ac.kr



조 수 환 (Soo-Hwan Cho)

1976년 10월 28일생. 2002년 고려대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2002~2004년 삼성전자 무선사업부 근무. 2009년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2009~2011년 한국원자력연구원 선임연구원. 2011~ 2017년 상명대학교 에너지그리드학과 조교수, 2017~ 현재 상명대학교 전기공학과 부교수.
Tel : 02-781-7503
E-mail : shcho@smu.ac.kr



한 수 경 (Soo-Kyung Han)

1994년 11월 1일생. 2017년도 상명대학교 에너지그리드학과 졸업(공학사). 2017~현재 상명대학교 에너지그리드학과 재학(석사과정).
E-mail : 201311047@sangmyung.kr



신 훈 철 (Hoon-Chul Shin)

1993년 2월 22일생. 2017년도 상명대학교 에너지그리드학과 졸업(공학사). 2017~현재 상명대학교 에너지그리드학과 재학(석사과정).
E-mail : gnscjftls@naver.com



박 상 호 (Sang-Ho Park)

1973년 8월 27일생. 2000년 명지대학교 전기공학과 졸업(공학사). 2002년 명지대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2004~2007년 한전 전력연구원 일반연구원. 2008~ 현재 한전 전력연구원 선임연구원.
Tel : 042-865-5813
E-mail : alegole73@kepco.co.kr