

IEC 기반의 플리커 관리기준 수립을 위한 플리커 전달계수 산정 연구

강문호*, 이병성*, 최원석*
한국전력공사 전력연구원

A Study on the Flicker Transfer Coefficient of IEC 61000-3-7 in Korea Power System

Moon-Ho Kang*, Beong-Sung Lee*, Won-Suk Choi*
Korea Electric Power Corporation

Abstract - 전압의 시간적 변동으로 인하여 시각적 혹은 심리적으로 인식되는 불편함을 나타내는 플리커는 인간의 생체심리학적 인지능력과 관련이 있으며, 인간의 눈은 0.3%에서 0.4%의 매우 작은 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에서 민감하게 반응하며, IEC는 실증 시험을 통해 8.8Hz의 전압변동에서 가장 민감하게 인식하는 것을 확인하였다. 이러한 플리커는 시각적 불쾌감과 함께 지속적인 경우 회전기와 같은 기기들에 악영향을 주며, 전자장비, 전구, CRT 장비, UPS 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작 발생으로 효과적으로 관리가 필요하다. 현재 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 진행되고 있어 본 논문에서는 IEC 61000-3-7 국제규격을 국내 적용을 위해 필요한 국내 전력계통의 플리커 전달계수를 제시하였다.

1. 서 론

플리커란 전등부하에 인가되는 전압의 시간적 변동으로 인하여 시각적 혹은 심리적으로 인식되는 불편함을 나타내는 지수로 인간의 생체심리학적 인지능력과 관련이 있다. 인간의 눈은 0.3%에서 0.4%의 매우 작은 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에서 민감하게 반응하며, IEC는 실증시험을 통해 8.8Hz의 전압변동에서 가장 민감하게 인식하는 것을 확인하였다.[1] 이러한 플리커는 일반적으로 아크로, 용접기, 대형 전동기와 같은 대용량 부하의 운전에 의해 발생하며, 이는 짧은 시간에 순간적으로 많은 양의 무효전력을 소비하기 때문이다. 이렇게 발생한 플리커는 시각적 불쾌감을 느끼게 하고, 지속적인 경우 회전기와 같은 기기들에 악영향을 주며, 전자장비, 전구, CRT 장비, UPS 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작으로 인해 전기품질이 저해되기 때문에 이를 효과적으로 관리하기 위한 기준 마련이 필요하다.[2] 현재 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 진행되고 있으며, 배전계통의 플리커 관리기준은 IEC 61000-3-7규격에 잘 기술되어 있다. 본 논문에서는 IEC 규격을 국내 적용을 위해 IEC 국제규격에 기반한 국내 배전계통의 플리커 관리기준 수립에 필요한 상위계통과 하위계통간의 플리커 전달계수를 산정하기 위해 주요 플리커 부하의 전달특성을 측정하고 플리커 전달계수의 산정이 필요하다.

2. 본 론

2.1 IEC 플리커 관리절차

IEC 61000-3-7에 따른 배전계통 플리커 관리절차는 3단계로 구성하고 있으며, 각 과정을 간략하게 정리하면 다음과 같다.[3]

[1 단계]

간단한 플리커 방출평가방법으로 전력변동량이 매우 한정적인 소비전력이 적은 설비는 정밀평가 없이도 연결가능하다. POE에서의 계통단락용량(Ssc)에 대한 피상전력의 변동(ΔS) 비율(%)이 한계치를 넘지 않는 경우에는 정밀한 평가 없이 고객을 연결한다.

[2 단계]

실제의 배전계통특성에 의한 방출한계의 평가절차로 실 전력계통에서는 전달계수(Tpst)와 동시발생인자(a)로 인해 1단계에서 설정한 한계치 이상으로 방출될 수도 있다. 외란의 전체수준에 대한 기여분(global contribution)이 배전계통의 총 공급량에 대한 개별 고객의 용량비에 따라 개별 플리커 발생 고객에게 배분하여 할당된 방출한계 내에서 모든 고객들에 의해 방출되는 플리커의 총량을 계획수준으로 관리한다. 이를 위해 배전계통에 의해 전력을 공급받는 여러 고객들(플리커원)에 의해 방출되는 전체 방출기여분(GPstMV)을 아래와 같이 계산한다.

$$G_{PstMV} = \sqrt[3]{L_{PstMV}^3 - T_{PstHM}^3 \times L_{PstHV}^3} \quad (식 1)$$

여기서 G_{PstMV} 는 해당 배전계통에 대한 전체 방출기여분, L_{PstMV} 는 해당 배전계통의 계획수준, L_{PstHV} 는 상위 전력계통인 송전계통에 대한 계획수준, T_{PstHM} 은 상위 전력계통으로부터 배전계통으로의 플리커 전달계수를 각각 의미한다.

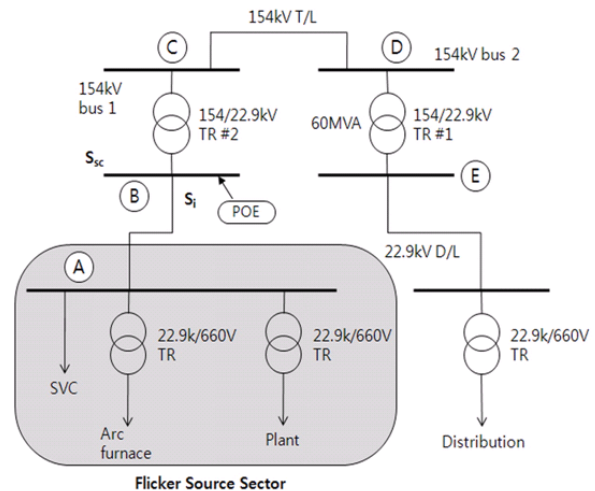
마지막으로 이렇게 구한 전체 방출기여분은 해당 배전계통의 총 공급전력량(S_{total})에 대한 개별 고객의 계약전력량(S_i)의 비를 기준으로 개별 고객에게 분배하여 관리한다.

[3 단계]

조건부 초과 방출수준의 허용에 대한 평가절차로서 부득이하게 2 단계의 한계를 초과할 경우에 적용된다. 이미 존재하고 있는 플리커 수준과 예상되는 기여도를 감안하여 고객의 연결에 대한 면밀한 조사한다.

2.2 플리커 전달계수의 선정

IEC 규격에는 플리커 전달계수(transfer coefficient)를 서로 다른 전압레벨에서 동시에 측정된 Pst값들의 비로 정의하고 있다. 따라서 본 연구에서는 국내 세 변전소에서 측정된 Pst 결과를 이용하여 154kV 모선과 22.9kV 모선 간의 전달계수를 계산하였다.[4] 우리나라 송배전 계통에서 아크로 부하(제철, 제련공장 등)가 연결된 경우에 대한 일반적인 계통 단선도는 다음과 같다.



<그림 1> 아크로 부하를 포함한 전력계통도 예시

에너지관리공단에서 발표한 보고서에 따르면 10MW 이상의 고용량 전기로가 차지하는 비율은 전체 전기로의 10% 내외이나 소비전력은 80%에 육박하고 있다. 대다수를 차지하는 5MW 이하의 소용량 전기로는 그 소비전력에 있어서 전체 전기로 설비용량의 20%에 해당하는 전력소모를 보이고 있다.

<그림 1>에서 154kV bus1은 고객 부하모선으로서 154kV 전압 T/L에 의해 154kV 전압으로 직접 수전되고 있으며, 공장의 인입부에 설치된 154/22.9kV 변압기에 의해서 공장에 수전되는 송배전계통을 보여준다. B모선은 공장의 전력공급 모선(22.9kV)으로 플랜트와 아크로 그리고 전압보상설비로 구성된 플리커 유발부하(A모선)가 연결되어 있다. 이 고객의 총용량(154/22.9kV TR #2의 용량)과 아크로의 용량(아크로 공급변압기의 용량)을 각각 150MVA와 20MVA이라고 가정하자. 한국전력공사와 배전계통의 입장에서 보면, A모선에 연결된 아크로에서 발생한 플리커 왜란은 C모선을 통해 전력계통으로 유입되어 인근지역의 배전부하(E 모선 이하)에 영향을 주게 된다.

플리커의 실측을 위해서 국내 주요 플리커 부하가 연결된 인근의 변전소 혹은 전력소 중 군공변전소(전북)와 태백전력소(강원) 그리고 온산전력소(울산)를 선정하였다. 각 변전소의 고객 중 주요 플리커원으로 추정되는 고객과 해당 변전소의 사양은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 주요 플리커 발생고객 및 변전소 사양

고객명	사용전력량/총용량	PT비
군공변전소	○○○○○	180/240MW
태백전력소	◇◇◇◇◇	100/240MW
온산변전소	△△△△	-

플리커 전달계수의 계산을 위한 플리커(Pst) 측정은 154/22.9kV TR#1(용량 60MW)의 고압(D모선)/중압(E모선)측 PT 2차측에서 이뤄졌으며, 제련/제철공장의 정상근무가 이뤄지는 오후 시간에 연속적으로 측정하였다. 그중 군공변전소 측정결과를 아래 표 2에 나타내었다.

<표 2> 군공변전소 플리커 측정 결과

구분	P상 Pst			S상 Pst			T상 Pst		
	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수	1차측	2차측	전달계수
1	1.0138	0.809	0.7980	0.9069	0.7167	0.7903	0.9124	0.7415	0.8127
2	0.8716	0.7009	0.8042	0.9082	0.7153	0.7876	0.9811	0.7909	0.8061
3	1.0997	0.8855	0.8052	1.0511	0.8337	0.7932	1.1936	0.9632	0.8070
4	0.5691	0.4716	0.8287	0.556	0.4514	0.8119	0.5772	0.4772	0.8267
5	1.1725	0.9432	0.8044	1.0903	0.8621	0.7907	1.1651	0.9456	0.8116
6	1.2452	0.9918	0.7965	1.1147	0.8751	0.7851	1.1647	0.9398	0.8069
7	0.7493	0.6047	0.8070	0.7193	0.5777	0.8031	0.7289	0.5965	0.8184
8	0.6035	0.4929	0.8167	0.5862	0.4756	0.8113	5.744	0.4995	0.0870
9	1.0831	0.8616	0.7955	0.9714	0.7643	0.7868	1.0154	0.8596	0.8466
10	0.7009	0.5732	0.8178	0.689	0.5489	0.7967	0.6605	0.5439	0.8235
11	1.0893	0.8753	0.8035	0.9475	0.7472	0.7886	0.9581	0.805	0.8402
평균			0.8071			0.7950			0.8200

표에서 전달계수가 비정상적인 부분은 어두운 배경으로 표시하였으며, 전달계수가 1보다 큰 경우는 측정 중 TR 2차측 모선의 플리커 왜곡현상이 더 심각함을 의미하며, 즉 관심 플리커원에 의한 플리커보다 E모선에 연결된 다른 플리커원에 의해 모선이 오염됐음을 의미하므로 전달계수 계산에서 배제하였다. 온산변전소의 경우, 측정 TR의 중압측(22.9kV)에 연결된 다른 플리커 부하의 영향으로 인해 측정 결과가 부정확하여 전달계수 산정 시 제외하였다.

군공변전소와 태백전력소에서 측정된 Pst를 바탕으로 계산된 전달계수를 통해 국내 계통에서 사용되는 고압-중압간의 플리커 전달계수를 산정한다. 평균값으로 산정된 고압-중압간의 플리커 전달계수는 0.87이다. IEC에서 예시로 제시하고 있는 전달계수는 아래의 표 3과 같다.

<표 3> IEC의 전압레벨에 따른 플리커 전달계수 예

전압레벨(A→B)	전달계수
220kV → 70kV	0.82
70kV → 15kV	0.91
15kV → 230V	0.98~1.0

우리나라의 전압레벨을 고려했을 때 송전계통에서 배전계통으로의 플리커 전달계수(T_{PstHM})는 154kV → 22.9kV이므로 IEC의 경우와 비교하여 220kV → 70kV과 70kV → 15kV의 중간적인 크기를 가지므로 그 결과 값 0.87이 매우 타당함을 확인할 수 있다.

또한 특고압 배전계통에서 저압 배전계통으로의 플리커 전달계수(T_{PstML})는 거의 1에 가깝기 때문에 국내 배전전압의 크기 및 배전계통의 임피던스 전압강하를 고려할때 0.98을 적용하여도 크게 무리가 없을 것으로 판단된다.

3. 결 론

전압의 시간적 변동으로 인하여 발생하는 플리커는 인간의 생체심리학적 인지능력과 관련이 있으며, 인간의 눈은 0.3%에서 0.4%의 매우 작은 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에서 민감하게 반응한다. 이러한 플리커는 시각적 불편감과 함께 지속적인 경우 회전기와 같은 기기들에 악영향을 주며, 전자장비, 전구, CRT 장비, UPS 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작 발생으로 효과적으로 관리가 필요하다.

현재 국내 전기품질 관리기준은 IEC 국제규격을 바탕으로 제·개정 작업이 진행되고 있어, 본 논문에서는 IEC 61000-3-7 국제규격을 국내 적용을 위해 필요한 국내 배전계통의 플리커 전달계수를 산정하기 위해 IEC 61000-3-7의 배전계통 플리커 관리절차를 분석하고 국내 주요 플

리커 부하가 연결된 변전소 혹은 전력소 중 3개소를 선정하여 플리커를 측정하였다. 측정된 플리커 데이터를 바탕으로 국내 배전계통에서 적합한 고압-중압계통간의 플리커 전달계수가 0.87임을 제시하고 IEC의 전달계수 예시 값과 비교하여 타당함을 확인하였으며, 계통전압의 크기 및 배전계통의 임피던스 전압강하를 고려하여 배전계통의 플리커 전달계수(T_{PstML})는 0.98가 적합함을 제안하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kwan-II Oh, et al., "전압플리커 저감과 역률 보상 기능을 갖는 배전용 STATCOM의 실제통연계 운전결과 분석", 대한전기학회 하계학술대회, 245~248, 2000
- [2] Yeong-Han Chun, et al., "전력시장 체제 하에서의 플리커 및 고조파 규제 방안과 현황", 대한전기학회 하계학술대회, 47~49, 2002
- [3] IEC 61000-3-7, "Limits-Assessment of emission limits for the connection of fluctuating installations to MV, HV and EHV power systems", IEC, 2003
- [4] 한국전력공사, "배전계통 플리커 관리기준 제정 및 순간전압강하 관리방안 수립", pp. 114 ~ 118, 2010