

전력시장 체제 하에서의 플리커 및 고조파 규제 방안과 현황

전영환, 남기영, 김정훈, 박종배, 김발호
홍익대학교, 한국전기연구원

Regulation of the Flicker and Harmonics for the future Electric Market and Current Status

Yeong-han Chun, Ki-Young Nam, Jung-hoon Kim, Jong-bae Park, Bal-ho Kim
Hongik University, Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - 현재 플리커 및 고조파는 전기공급약관의 송전용 전기설비 성능기준에서 전압품질유지 기준을 지정하여 운용하고 있다. 그러나, 전력시장 체제 하에서 전력품질은 그 자체로 상품성을 가질 것으로 예상이 되고 있으므로, 현재 우리 나라의 플리커 및 고조파 실태를 조사 분석하여 이에 대비할 필요성이 있다. 본 논문은 우리 나라 154kV 선로에 직접 접속하여 수전하고 있는 대형 수용가 단에서 플리커 및 고조파를 측정하여 현재의 실태를 파악하고, 이를 근거로 적정 규제 방안에 대해 논하고자 한다.

a_i : i 주파수의 10 Hz 성분으로 환산한 시감도 계수
 V_i : i 주파수 평균전압

이며, 깜빡임 시감도 곡선은 다음과 같이 주어진다.

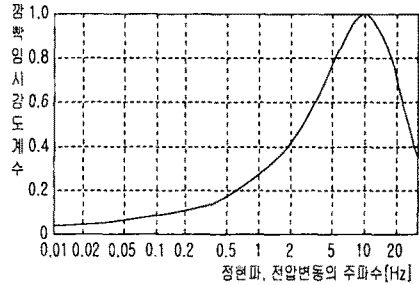


그림 1 깜빡임 시감도 곡선

1. 서 론

전력품질은 주파수와 전압 품질로 나눌 수 있으며, 주파수 및 전압 변동율은 전력거래소가 계통운업을 통해 확보할 수 있다. 그러나 전압품질 중에서 플리커와 고조파는 수용가가 발생시키므로 이를 수용가단에서 적절히 차단할 필요가 있다. 현재 우리 나라의 플리커 및 고조파에 대한 규제는 전기공급약관의 송전용 전기설비 성능기준에서 일정 기준을 정하고 있다.

2003년부터 개설 예정인 도매경쟁 전력시장 체제의 출범을 앞두고 이러한 규제 기준을 정비할 필요성이 대두됨에 따라 우리 나라의 154 kV 선로에 직접 접속하여 수전하고 있는 대형 수용가 중, 아크로, 전기용접 부하를 중심으로 실태를 분석하여 모든 전기사업자에게 공평하게 적용되고, 또한 계통 운영 측면에서 효율적으로 전압품질을 유지할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

$\Delta V_{10} = 1V$ 라고 하는 것은 전압의 변동에 의한 깜빡임은 정현파 10 Hz 1V의 변동에 의한 깜빡임과 같다는 것을 의미한다. 이 값과 깜빡임을 인식하는 비율(인식율)을 대응시켜 그림 2에 표시하는 깜빡임 인식율 곡선이 시험을 통해 인정되고 있다. 현재 일반적으로 사용되고 있는 것은 F_2 곡선으로 이 곡선에 의해 허용치를 정할 수 있으며 $\Delta V_{10} = 0.45$ 이하 ($F_2 = 50\%$ 이하)로 하고 있다.

2. 본 론

2.1 플리커

플리커는 아크로나 대형 유도기 기동시 등 부하 전류의 크기가 연속적이고 빠르게 변화하는 부하에 의해 나타난다. 플리커라는 말은 전압변화에 의해 램프의 깜빡거림이 인간의 눈에 의해 감지되는데서 유래되었다. 플리커는 인간의 눈의 민감도라는 측면에서 측정된다.

2.1.1 플리커의 영향

플리커에 의한 전등의 깜빡거림은 사람에게 불쾌감을 주게 되는데 이러한 인체에 미치는 영향이 다른 기기에 미치는 영향보다 크다고 할 수 있으나, 전자장비, 전구, CRT 상비, PILL의 오동작, UPS의 동기상실, 제어설비 및 보호설비의 오동작 등의 피해도 무시할 수 없다.

2.1.2 플리커의 측정 지수

전압의 변동 중, 인간의 눈에 가장 민감하게 감지되는 주파수는 대개 8-10 Hz이다. 이는 광범위한 테스트에 의한 데이터이며, 우리 나라에서는 10Hz 성분을 기준으로 하여 다른 주파수의 시감도를 10Hz로 환산하여 사용하고 있다.

$$\Delta V_{10} = \sqrt{(a_1 V_1)^2 + (a_2 V_2)^2 + \dots + (a_n V_n)^2} \quad (1)$$

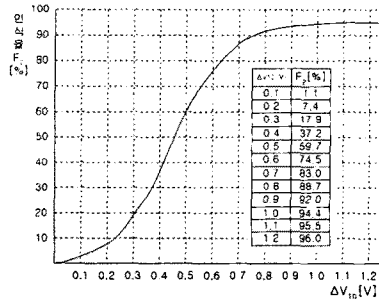


그림 2 깜빡임 인식율 곡선

2.2 고조파

계통에서 고조파는 비선형 부하의 전압과 전류 특성에 의해 발생하는데, 먼저 전류고조파를 발생하고, 선로의 전압강하에 의해 전압 고조파로 나타나게 된다. 각 고조파원에 의해 발생하는 고조파는 계통에서 벡터 합으로 나타나게 되며, 비선형 부하가 증가함에 따라 고조파의

영향도 앞으로 계속 증가하는 추세에 있다.

2.2.1 고조파의 영향

고조파에 의한 영향은 다양하게 나타나는데, 주요한 영향을 보면 다음과 같다.

- 제어장치, 계전기 등의 오동작
- 커패시터, 변압기, 회전기 등의 손실 증가
- 모터 등의 소음 증가
- 통신 설비의 잡음 및 간섭
- 선로의 LC 공진에 의한 전압 상승

2.2.2 고조파의 측정 지수

고조파 왜형의 정도를 나타내는 유효한 척도로서 통상 종합왜형(THD: Total Harmonic Distortion) 및 조파별 고조파 함유율을 사용하고 있다. 종합전압왜형율은 기본파 성분 실효치에 대한 전체 고조파 성분 실효치의 비율로 즉,

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_2^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (2)$$

로 나타내고, 조파별 고조파 함유율은 기본파 성분 실효치에 대한 어떤 차수의 고조파 성분 실효치의 비율로 나타낸다.

$$\frac{n\text{조파의 고조파 전압}}{\text{기본파 전압}} = \frac{V_n}{V_1} \times 100 \% \quad (3)$$

여기서,

V_n : 제n차 고조파 전압의 실효치 ($n \geq 2$)

V_1 : 기본파 전압의 실효치

2.3 측정 결과

2.3.1 플리커 측정

제철 수용가를 중심으로 측정한 결과를 토대로 분석해보면 현재의 기준은 용량이 작은 아크로를 운영하는 수용가라면 거의 모든 수용가가 플리커에 대한 별다른 대책시설 없이도 한국전력에서 요구하는 기준에 적합한 것으로 분석되었다. 심지어 100ton 용량의 아크로를 사용하는 곳에서도 아무런 대책설비 없이 1일 중 1번의 기준치 초과 현상이 측정되었으며 대책설비가 있는 곳의 경우는 기준치 보다 훨씬 낮은 값이 측정되었다. 본 연구에서 실측을 행한 9개 수용가를 대상으로 측정된 플리커 분석치를 종합해보면 표1과 같다.

표 1을 좀더 상세히 분석해 보면 대용량 아크로(100톤 규모)를 사용하는 곳이 3개사로 이 3개사의 플리커 발생량은 다른 업체보다 상대적으로 높은 수치의 플리커를 발생하고 있음을 알 수 있다. 이들 3개사의 1일 중 평균치를 구해보면 최대치 0.349V, 최소치 0.159V, 일평균 0.263V인데 이중 대책 설비가 있는 두 곳의 평균치를 구해보면 각각 0.316V, 0.179V, 0.175V로 허용기준보다 훨씬 낮은 값이 측정되었다. 대책설비를 갖춘 곳에서는 플리커의 일중 최대치가 현행의 허용 기준치의 50% 정도 수준이며 전체 평균치가 허용 기준치의 70% 선에 이른다.

측정을 통해 파악된 것은 아크로 용량 1ton의 전력수요가 약 1MW 정도이므로 100ton 규모의 아크로의 수요변동은 5분~10분 사이에 1MVA에서 최대 100MVA까지 변화하여 전력계통에 영향을 미칠 수 있는, 즉 대책설비가 없는 경우 현재의 허용치를 초과하는 수용가는 대용량 아크로를 가진 수용가가 가장 유력하다. 따라서 지금의 플리커 기준은 더욱더 강화되어야 하며 특히 아크로를 가진 수용가의 경우는 아크로의 총합 용량에 대해 예측치를 산정하고, 실측치는 대책설비를 도입하도록 유도하는 것이 바람직하다. 왜냐하면, 이는 결국 대형 아크로를 가진 수용가가 아무런 대책설비 없

이 운용한다는 것은 타 수용가에게 항상 품질에 영향을 미칠 수 있는 가능성이 잠재되어 있기 때문에 계통의 전기품질 뿐만 아니라 타 수용가는 물론 자신의 타 전기설비에 대한 품질저하를 방지하기 위해서는 기본적으로 아크로를 사용하는 수용가는 수전설비의 단락용량을 크게 하여 자체의 플리커를 흡수하거나, 무효전력 공급설비를 갖추도록 할 필요가 있다.

	최대치	최소치	일평균	주요부하	플리커 대책설비
A사	0.193	0.123	0.166	유도로, 아크로	SVC, 수동필터
B사	0.492	0.147	0.323	아크로	없음
	0.464	0.310	0.379		
C사	0.060	0.038	0.046	전동기, 정류기, 인버터	수동필터
D사	0.245	0.056	0.183	아크로	SVC, 수동필터
E사	0.038	0.025	0.032	유도로, 전동기, 정류기, 인버터	없음
F사	0.100	0.061	0.076	압연용, 대용량 유도전동기, 정류기, 인버터	SVC, 수동필터
G사	0.073	0.046	0.059	아크로(소용량)	없음
H사	0.058	0.033	0.047	압연용, 대용량 유도전동기, 정류기, 인버터	없음
I사	0.049	0.128	0.109	압연용, 대용량 유도전동기, 정류기, 인버터	없음
전체평균	0.18	0.10	0.14		

표 1 산업수용가의 플리커 발생 실태 ($\Delta V_{10}(\%V)$)

2.3.2 고조파 측정

표 3에서 최대치의 전체 평균치는 거의 허용 한도에 접근하고 있으나 불량이 발생한 2개 사를 제외하면 허용한도의 약 66% 수준에 이를 수 있다.

불량이 발생한 2개사 중 C사의 경우는 대표적인 고조파 발생기기 중의 하나인 정류기 부하가 대부분으로 각각의 부하에 맞는 가중치 설정에 따른 설계 없이 개별기기에 대한 필터시설로 운전되고 있었으며, 증설된 새로운 기기에 대한 필터의 부재 및 용량의 부족 등으로 인해 허용치의 3배에 가까운 고조파를 발생시키고 있음을 보였다. 이는 지금까지는 개별 기기에 대한 용량만을 고려하여 설계하여 필터를 시설하였어도 문제가 발생되지 않았지만 여러 종류의 고조파를 발생하는 기기들이 동시에 사용된다면 이들 개별 기기가 발생하는 고조파간의 상호작용에 의한 고조파 "inter-harmonics"가 더욱 더 큰 고조파로 나타나게 된다는 사실을 간과해왔기 때문이다.

따라서, 지금까지 전압본 고조파만을 규제 해왔던 방법에서는 이를 어기는 수용가를 실측해 보지 않고서는 알 수 없었기 때문에 효과적인 기준이 될 수 없었으며, 전압파형을 찌그러지게 하는 원인이 부하기기의 사용 부하전류에 기인함에 있음에도 불구하고 전류본 고조파에 대한 기준이 없었기 때문에 수용가에서도 효율적이고 경제적인 대책수립이 어려웠다고 할 수 있다. 즉, 설비를 신설 또는 증설할 때에 개별 기기 특성에 따른 고조파 영향을 감안한 대책설비를 시설하는 것이 아니라 수전단에서의 규제치인 전압본 만을 고려했기 때문에 이와 같은 문제가 최근 들어 기기간의 inter-harmonics로 인해 더욱더 커지고 있음에도 불구하고 근원적인 대책수립이 어려워지게 되었다고 할 수 있다.

그러므로, 향후 고조파를 규제하기에 앞서 수용가가 이를 지켜나갈 수 있도록 개별기기에 대해 전력공급 설비의 단락용량 및 기기별 고조파 발생 가중치를 고려한

고조파 전류의 허용기준을 제시하여야 할 것으로 생각된다. 이렇게 함으로써 수용가 들은 가장 경제적이고 효율적인 고조파 대책을 세울 수 밖에 없으며 전압분 고조파의 허용기준은 자연스럽게 달성될 수 있을 것이다.

	최대치	최소치	일평균	주요부하	대책설비
A사	1.10	0.98	1.041	유도로, 아크로	SVC, 수동필터
B사	1.09	0.91	0.979	아크로	없음
	1.04	0.83	0.950		
C사	4.77	1.32	2.843	전동기, 정류기, 인버터	수동필터
D사	1.54	1.49	1.508	아크로	SVC, 수동필터
E사	1.14	0.74	0.882	유도로, 전동기, 정류기, 인버터	없음
F사	0.58	0.79	0.713	알연용 대용알정, 유도전동기, 정류기, 인버터	SVC, 수동필터
G사	0.83	0.65	0.752	아크로(소용량)	없음
H사	1.02	0.71	0.870	알연용 대용알정, 유도전동기, 정류기, 인버터	없음
I사	1.11	0.61	0.888	알연용 대용알정, 유도전동기, 정류기, 인버터	없음
전체평균	참뵈된 계산치	참뵈된 계산치	참뵈된 계산치		

표 2 산업수용가의 고조파 발생실태

2.4 플리커 및 고조파 유지 기준안

현재 플리커 및 고조파는 전기공급약관의 송전용 전기설비 성능기준에서 전압품질유지 기준을 다음과 같이 지정하여 운용하고 있다

2.4.1 플리커 유지기준안

구분	현행 기준	신 기준(안)	비고
예측 계산 시	2.5%	2.5%	최대전압 강하율로 표시
실 측 시	0.45V	개별 수용가당 현행의 70% 미만	ΔV_{10} 으로 표시하며 1시간 평균치임

표 3 플리커 규제기준안

- 전용선으로 단독 수전하는 경우 측정을 통하여 ΔV_{10} 가 0.45V의 70%(약 0.32V) 이하로 강화
- 일회선에 여러 수용가가 접속되어 있을 때 측정을 통해 공통 접속점에서의 ΔV_{10} 가 가능한 한 0.45V이하가 되도록 관리하되 한 개의 수용가 당 플리커는 ΔV_{10} 가 70% 이하가 되도록 할 것

현재 플리커의 규제는 ΔV_{10} 을 0.45V로 지정하고 있어서, 단지 플리커의 영향이 다른 수용가에 나타나지 않으면 만족하는 것으로 하고 있다. 그러나, 플리커는 수용가가 접속하고 있는 계통의 단락용량에 따라 그 영향이 커질 수도 있고 작아질 수도 있기 때문에, 단락용량이 큰 계통에 접속하는 수용가는 상대적으로 대책 설비가 미비하더라도 상관없이 되어 있다. 이러한 점은 모든 수용가에게 공평하게 규제가 되어야 한다는 점에서 문제가 있으며, 또한 계통의 분리에 제약으로 작용한다는 점도 간과할 수 없는 요소이기도 하다. 따라서 표 2와 같

이 플리커 허용 기준을 강화할 필요가 있다. 이러한 경우 플리커 대책 설비를 갖추고 있는 수용가의 경우에는 전혀 영향을 미치지 않으며, 대책 설비가 없는 수용가는 대책설비를 갖추도록 유도할 수 있다.

2.3.2 고조파 유지기준안

항목	계통	지중 선로가 있는 변전소에서 공급하는 수용가		가공 선로만 있는 변전소에서 공급하는 수용	
		전압	66kV이하	154kV이상	66kV이하
전압		66kV이하	154kV이상	66kV이하	154kV이상
전압왜형률 (%)		3	1.5	3	1.5

표 4 현행 고조파 허용기준

PCC에서의 부스 전압 V_n	조파변 고조파 전압왜형률한계(%)	종합전압왜형률 THD v_1 (%)
$66kV \leq V_n < 154kV$	3.0	5.0
$154kV \leq V_n \leq 345kV$	1.0	1.5
$V_n > 345kV$	1.0	1.5

표 5 고조파 규제안

고조파의 유지기준은 THD로만 규제를 하고 있지만, 고조파별 최대치도 같이 규제할 필요가 있다. 고조파는 플리커와는 달리 적은 용량의 비선형 기기에 의한 고조파 성분이 벡터합으로 나타나기 때문에, 앞으로 그 영향이 점점 증대되는 점을 감안하면, 전압 뿐만 아니라 발생원인 전류고조파에 대해서 각 기기별로 가이드라인(지침)을 마련하여 근본적인 대책을 마련할 필요도 있다.

3. 결 론

플리커 기준은 우리 나라의 실태를 조사하여, 강화할 필요가 있으며, 고조파 기준은 THD로 154 kV 이상 선로에 대해서는 완화하고 고조파별 기준을 새로이 지정하였다. 고조파의 경우에는 IEEE의 기준을 따랐으며, 비선형 기기의 증가 추세에 맞추어서 전류기준을 지침으로 마련하여 대비할 필요가 있다. 또한 기기의 데이터에 의한 광범위한 조사를 앞으로 수행하여 우리 나라의 데이터 베이스를 갖출 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] J. Arrillage, N. R. Watson, "Power System Quality Assessment", John Wiley & Sons
- [2] C. Sankaran, "Power Quality", CRC Press
- [3] Barry W. Kennedy, "Power Quality Primer", McGraw Hill
- [4] IEEE 141-1993 : IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants
- [5] IEEE Std 519-1992 "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems