

# 전력계통의 전력품질 외란을 고려한 플리커 평가에 관한 연구

(A Study on Flicker Evaluation Considering Power Quality Disturbance of Power System)

정승복\* · 김재철

(Seung-Bock Jung · Jae-Chul Kim)

## Abstract

This paper studies flicker evaluation considering power quality disturbance. A flicker problem with light device irritates human's eyes. Also, the flicker problem has an influence on adverse effect such as rolling device and rotating device. However, a study of flicker evaluation is not complete. A flicker is measured and evaluated at monitoring point. But, we consider power quality disturbances such as voltage sag and transient that cause fault and inverter/breaker switching. Power quality disturbances affects flicker evaluation. A flicker evaluation index increases. Therefore, we consider power quality disturbances. We detect voltage sag and transient using wavelet and evaluate flicker without flicker index including power quality disturbances.

## 1. 서론

최근 민감한 전자기기의 발달과 웰빙 시대에 맞추어 전력품질에 대한 관심이 증대되고 있다. 특히 이 중 플리커는 발광체 부하가 연결되었을 경우 인체의 눈에 자극을 주어 불쾌감을 느끼게 하고 지속적일 경우 회전기 와 같은 기기들에 악영향을 미치게 된다. 이런 플리커에 대한 평가 방법은 대표적으로 FFT를 이용하는 방법과 Wavelet를 이용하는 방법이 있다. 또한 플리커를 측정하는 측정 지수도 다양한 편이다. 하지만 이런 플리커에 대한 평가는 아직 정확하게 이루어지지 않고 있다. 기존의 방법은 전력계통의 상황을 고려하지 않고 측정점에서 플리커에 대한 평가한다. 하지만 다른 피더의 사고에 의한 전압강하, 차단기 혹은 인버터 스위칭에 의한 과도현상은 플리커 평가를 행함에 있어서 특정 주파수의 플리커로 인식하게 된다. 그렇게 플리커 평가를 함에 있어서 플리커가 발생하지 않음에도 플리커가 발생한 것처럼 인식되어 플리커 지수가 증가하게 된다. 특히 전압강하나 과도현상은 전력계통에서 흔히 발생하는 현상들이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 전력품질 외란이 발생할 경우를 고려하여 플리커 평가를 하였다. 전력품질 외란의 발생을 웨이블릿을 이용하여 검출하고 이러한 전력품질 외란이 발생하였을 경우 플리커 평가에서 제외하였고 어느 일정이상의 값을 벗어날 경우 플리커 평가에서 제외하였다.

## 2. 본론

### 2.1. 플리커

다음 식 2-1은 플리커 파형의 일반적인 형태를 나타

내었고 그림 1은 8.8Hz,  $\Delta V=0.4$  p.u.의 플리커 파형을 나타낸 것이다. 플리커는 0.5Hz ~ 35Hz의 주파수를 가지고 있다.

$$V(t) = \sqrt{2}V_{rms} \left[ 1 + \frac{1}{2} \sum_n \Delta V_{-n} \sin(2\pi f_n t + \phi_n) \right] \times \sin(2\pi f_{sys} t)$$

$f_{sys}$  : System Frequency

$f_n$  : Flicker Frequency

$\Delta V_{-n}$  : Flicker Modulation

.....식 2-1

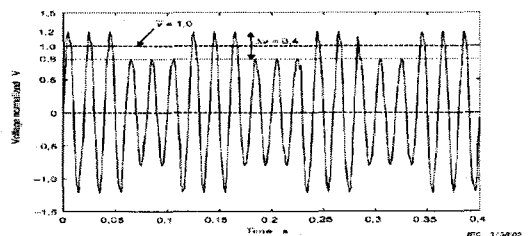


그림 1. 8.8Hz,  $\Delta V=0.4$ p.u.의 플리커 파형  
Fig.1. 8.8Hz,  $\Delta V=0.4$ p.u. flicker waveform

### 2.2. 플리커 평가

다음 그림 2는 플리커 평가에 가장 기본적으로 사용되는 IEC 플리커 메타를 나타낸 것이다.

Input processing은 입력된 신호의 정상화를 수행한다. 디지털변환으로 인한 aliasing현상을 방지하기 위해서 anti-alias filter가 있다. 플리커가 0.5Hz ~ 35Hz 사이에서 나타나기 때문에 35Hz 저역통 필터를 통해서 35Hz이하의 주파수만 본다. 또한 계산을 줄여주기 위해서 Decimation를 통해서 샘플링 수를 줄여준다.

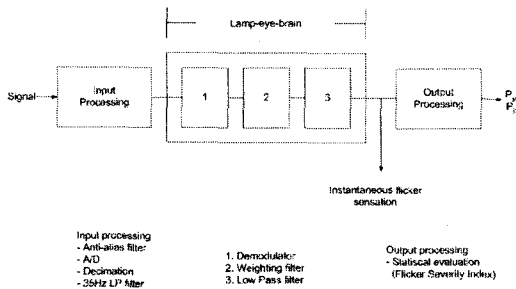


그림 2. IEC 플리커미터  
Fig.2. IEC Flickermeter

Lamp-eye-brain 부분은 인간의 시각을 구현한 것이다. 다음 표 1은 Lamp-eye-brain 모델의 Weighting filter의 Coefficient를 나타낸 것이다.

표 1. 플리커 민감도 계수  
Table 1. Coefficients of flicker sensitivity

Freq (Hz)	Coeff.	Freq (Hz)	Coeff.	Freq (Hz)	Coeff.
1	0.261	11	0.989	21	0.622
2	0.423	12	0.965	22	0.590
3	0.563	13	0.929	23	0.559
4	0.681	14	0.888	24	0.529
5	0.781	15	0.845	25	0.499
6	0.860	16	0.803	26	0.470
7	0.923	17	0.763	27	0.442
8	0.967	18	0.726	28	0.413
9	0.993	19	0.689	29	0.385
10	1.000	20	0.655	30	0.371

다음 그림 3은 이러한 플리커 평가 알고리즘에 대해서 이야기를 하였다. 2초 마다 한 번씩 FFT를 하고 이를 저장시키는 방식을 사용하였다. 계산을 줄여 주기 위해서 1/30 Decimation을 사용하였으며 0.5Hz ~ 30Hz 까지의 플리커 주파수를 분석하기 위해서 30Hz Low Pass Filter를 디지털형태로 구현하였다. 오차를 없애기 위해서 보정하였다[1].

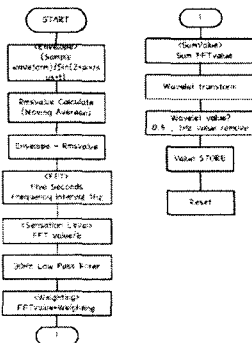


그림 3. 플리커 평가 알고리즘  
Fig.3. Flicker evaluation algorithm

다음 그림 4는 이러한 FFT를 이용하여 10Hz 플리커 주파수를 가진 파형의 위의 플리커 평가 알고리즘을 적용한 경우이다. 원파형과 Envelope-Rmsvalue, FFT를 통한 플리커 주파수 검출 결과이다.

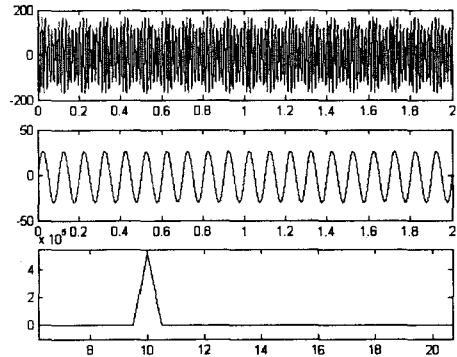


그림 4. 10Hz, 0.4pu 플리커 파형의 플리커 평가  
Fig.4. Flicker evaluation of flicker waveform

다음 표 2는 이러한 플리커 평가의 결과이다. 10Hz의 플리커 파형이 가장 가혹하다는 것을 알 수가 있다.

표 2. 플리커 평가 결과  
Table 2. The results of flicker evaluation

	플리커 전압변동의 크기(p.u.)			
	0.1	0.2	0.3	0.4
10Hz	34.12	130.10	290.09	514.08
20Hz	23.07	85.95	190.78	337.56
30Hz	14.00	49.67	109.15	192.46

### 2.3. 전력계통에서의 전력품질 외란

전력계통에서 전력품질 외란이 발생하면 플리커를 평가하는 것에 있어서 문제가 될 수 있다. 그림 5와 같이 계통에서 한 피더에서 사고가 날 경우 다른 피더에서는 전압강하가 발생할 수 있고, 유도기 기동 등에 의해서도 계통에 전압강하가 발생할 수 있다. 또한 컨버터/인버터 스위칭 동작이나 사고에 의한 차단기 동작, 커패시터 투입에 의해서도 과도현상이 발생할 수가 있다. 이와 같은 현상들은 계통에서 빈번하게 발생할 수 있는 외란 들이다.

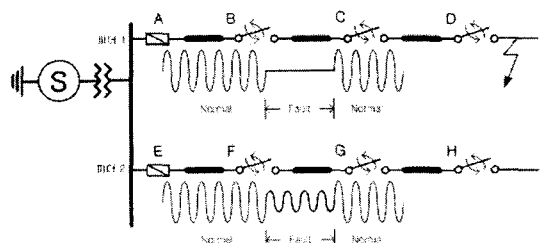


그림 5. 계통의 전압강하 발생 메커니즘  
Fig.5. Voltage sag generation mechanism

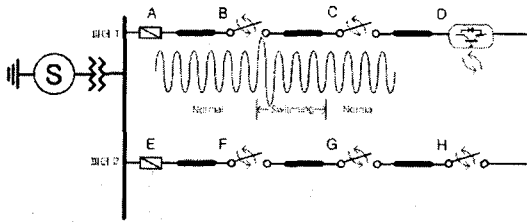


그림 6. 계통의 과도현상 발생 메커니즘  
Fig.6. Voltage transient generation mechanism

그림 6, 그림 7에서 보는 것과 같이 과도 파형을 위 알고리즘으로 FFT플리커 평가를 하였음에도 위와 같이 0.5Hz 및 기타 주파수가 검출되고 전압강하 파형도 0.5Hz의 플리커 주파수가 검출된다는 것을 알 수 있다. 즉 플리커가 발생하지 않았음에도 플리커가 발생한 것과 같은 결과가 발생하게 된다.

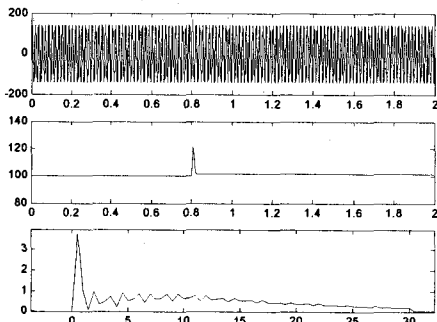


그림 7. 과도 파형의 플리커 평가  
Fig.7. Flicker evaluation of transient waveform

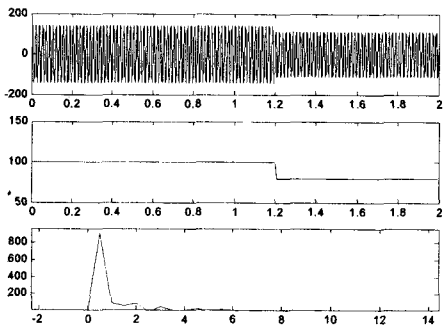


그림 8. 전압강하 파형의 플리커 평가  
Fig.8. Flicker evaluation of voltage sag waveform

#### 2.4. 전력품질 외란을 고려한 플리커 평가

그림 9, 그림 10과 같이 과도현상 및 전압강하시 실효치를 구해서 웨이블릿 분석을 하면 특정값이 존재한다는 것을 알 수 있다. 하지만 플리커의 경우는 웨이블릿 분석을 해도 아무런 변화가 없다. 따라서 웨이블릿 분석을 통해서 어떤 특정한 값이 나오면 그 값을 플리커 평가에서 제외해야 한다.

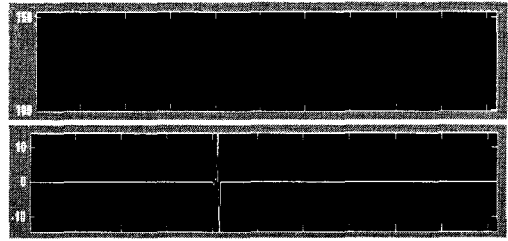


그림 9. 과도현상의 웨이블릿 분석  
Fig.9. Wavelet analysis of voltage transient

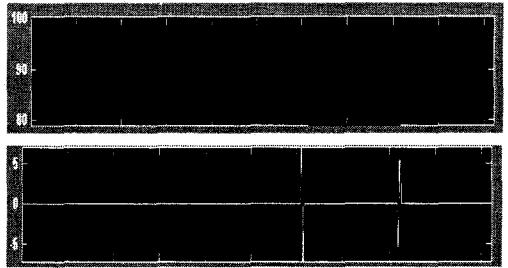


그림 10. 전압강하현상의 웨이블릿 분석  
Fig.10. Wavelet analysis of voltage sag

다음은 이러한 외란을 고려한 플리커 평가 과정이다.

1. 전압을 측정한다.
2. 전압의 Envelop(피크값)를 취한다.
3. 전압의 실효치를 계산한다.
4. Envelop - 실효치 값을 뺀다.
5. 4번에서 얻어진 값을 FFT를 한다.(0.5 ~ 30Hz)
6. Wavelet 평가를 한다. Wavelet 값이 나올 경우 0.5Hz 및 1Hz 플리커 값을 필터를 통해 제거한다.
7. 플리커 평가 결과를 저장한다.

다음 그림 11과 같이 과도현상이 같이 포함된 파형의 경우 플리커 평가시 521.91이 나오게 되어 플리커가 아님에도 과도 현상으로 인해서 플리커 지수가 더 높게 평가될 가능성이 있음을 알 수 있게 된다.

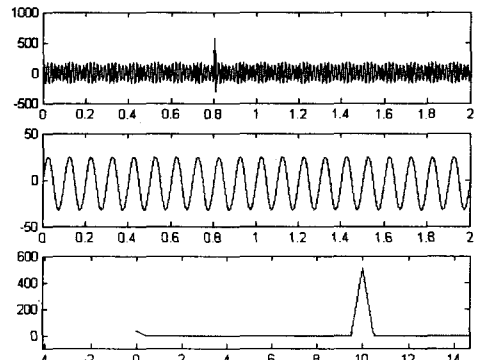


그림 11. 과도현상이 포함된 플리커  
Fig.11. Flicker included transient surge

다음 그림 12의 경우는 60% 전압강하 현상이 포함된 플리커 파형이다. 플리커 평가시 575.68이 나오게 되어 역시 플리커가 아님에도 전압강하 현상으로 인해서 플

리커 지수가 더 높게 평가될 가능성이 있음을 알 수 있게 된다.

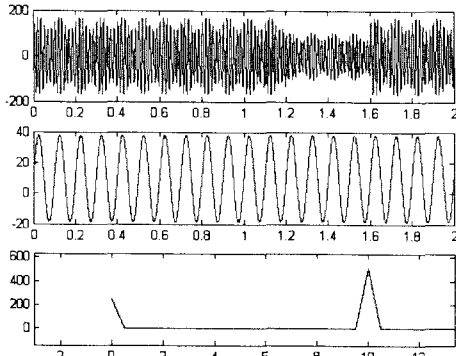


그림 12 전압강하 현상이 포함된 플리커  
Fig.12. Flicker included Voltage sag

다음 표 3, 4의 경우는 플리커와 동반된 전력품질 현상 및 단독전력품질 현상에 대한 기존의 플리커 평가와 새로운 전력품질을 고려한 플리커 평가 방법에 의한 결과 값을 나타낸 것이다. 전력품질 현상을 고려해 평가를 하니 더 정확한 플리커 검출을 할 수 있다는 것을 알 수가 있다.

표3. 외란이 포함된 플리커 평가 결과  
Table 3. The results of flicker evaluation included voltage disturbance

플리커포함		플리커미포함	
과도현상	969.33	과도현상	428.47
60% sag	667.93	80% sag	221.95
80% sag	530.5	60% sag	55.49
정전	1531.8		

표4. 외란이 고려한 플리커 평가 결과  
Table 4. The results of flicker evaluation considering voltage disturbance

플리커포함		플리커미포함	
과도현상	522.1	과도현상	1.31
60% sag	516.4	80% sag	0.06
80% sag	514.3	60% sag	0.07
정전	520.3		

## 2.5. 사례 연구

다음 그림 13,14의 경우는 PSCAD/EMTDC로 모의한 전압강하 및 정전에 대해서 모의를 하였다. 이것을 플리커 평가한 결과 전압 강하한 경우에는 11.39 정도의 값이, 정전의 경우에는 497.3 이라는 값이 나왔다. 이를 통해서 전압외란의 경우 플리커 평가에 영향을 미친다는 것을 알 수가 있다.

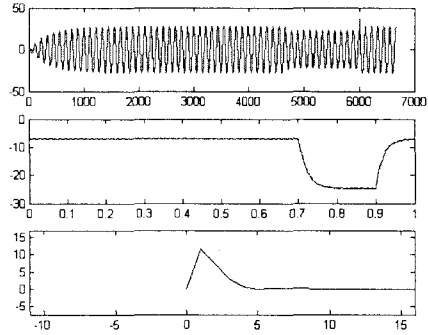


그림 13 전압강하 발생한 경우  
Fig.13. The case of voltage sag and surge

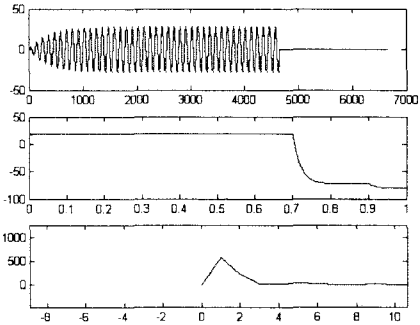


그림 14 정전이 발생한 경우  
Fig.14. The case of voltage interruption

## 3. 결론

본 논문에서는 전력품질 외란을 고려한 플리커 평가에 대해서 연구하였다. 기존의 플리커 평가에서는 계통의 상황을 고려하지 않았다. 그러나 FFT에 의한 플리커 평가는 전압강하 및 과도현상에 대해서도 일정주파수의 플리커로 인식하게 된다. 이로인해 플리커 지수의 크기가 커지게된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 전압강하 및 과도현상을 웨이블릿을 통해서 분석을 하고 검출시 플리커 평가시 제외하는 방안에 대해서 연구하였다. 그래서 더 정확한 플리커 평가에 대해서 연구하였다. 추후 다른 전력품질의 외란의 영향에 대한 연구가 필요하고 플리커와 전력품질 외란이 같이 섞여 있는 경우 이를 구분하여 플리커만 평가하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

### 감사의 글

이 논문의 연구는 산업자원부 지정 '전력신뢰도/품질 연구센터'에서의 재정적인 지원을 받아 진행되었습니다. 본 센터에는 경상대, 서울대, 숭실대, 한양대, 전북대의 교수님들과 대학원생들이 연구원으로 참여하고 있습니다

### 참고 문헌

- (1) Wu C.J, Fu, T.H. "Effective voltage flicker calculation algorithm using indirect demodulation method", IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution, Vol. 150, No. 4, pp. 493 - 500, 14 July 2003
- (2) S.j. Huang, C.T. Hsieh, "Application of continuous wavelet transform for study of voltage flicker-generated signals", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 36, No. 3, pp. 925 - 932, July 2000