

3상 4선식 부하설비의 전압 불평형을 측정 및 분석

김 종 곁, 박 영 진, 이 동 주, 이 화 수, 이 은 웅
원주대학, 충남대학

The measurement & Analysis of Voltage Unbalance Factor at Three Phase Four Wire Load System

Kim Jong-Gyeum, Park Young-Jin, Lee Dong-Ju, Lee Hwa-Su, Lee Eun-Woong
Won Ju College, Chung Nam Univ

Abstract—Most of LV customer has been composed the 3-phase four wire system distribution system which is supplying simultaneously at the 1-phase & 3-phase load. In this system, the composition of the power apparatus system is simple rather than conventional separation mode of the 1-phase & 3-phase, But due to uneven load unbalance or unclean power quality, various kinds such as derating or power losses become an issue. In this paper, we measured and analyzed voltage and current waveform in the field, compared with internationally allowable voltage unbalance limits.

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100[\%] \quad (1)$$

전압불평형에 의한 영향을 최소화하기 위해 표 1과 같은 규격에서는 그 허용범위를 대개 0~3[%]범위 이내로 설정하고 있다[1-3].

표 1 전압불평형을 허용범위

관련규격	허용범위[%]	비고
NEMA	1	at the motor terminals
IEC	2	
ANSI	0~3	no-load conditions
EN50178	2	V_2/V_1 (비대칭)

1. 서 론

부하에 전원을 공급하는 방식은 단상과 3상으로 구분할 수 있다. 부하에 따라 다르지만 소용량의 부하는 주로 단상, 동력용 부하는 대개 3상 전원을 사용한다.

부하에 안정적인 전원공급을 위해 전동·전열 및 동력용 부하를 분리하여 전원을 공급할 수 있는 변압기 구성방식이 적합하지만, 국내에서는 단상 및 3상 부하에 동시에 전력을 공급할 수 있는 3상 4선식 배전시스템을 주로 많이 적용하고 있다. 이 방식의 경우 각 상의 전압 불평형이 최소가 되도록 설계하지만 운전중 부하의 불평형에 의해 시스템에 여러 가지 문제를 발생하고 있다. 약간의 전압불평형에서도 높은 전류불평형으로 이어져 기기의 손실증가 및 동작특성에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 3상 4선식으로 구성 운영되고 있는 수용가 설비에서 전압 및 전류 불평형에 대한 측정을 실시하고 국내의 규격과의 비교 분석을 실시하고자 한다.

2. 전압불평형

2.1 전압불평형의 정의 및 발생원인

전압불평형의 발생은 3상 전원에 단상부하의 불균형 배분과 불평형 3상 부하 임피던스에 의해 주로 발생한다.

수용가는 설비 특성상 단상과 3상 부하의 사용비율이 각각 다르다. 일반 사무실의 경우 단상 부하가 3상 부하보다 많지만, 공장이나 전동력설비를 사용하는 곳에서는 3상 부하가 단상보다 사용 비율이 높다. 또한 사용하는 부하의 종류와 시간에 따라 전압불평형의 크기도 변화한다. 3상 4선식을 전동·전열 및 동력용 부하에 사용하는 경우도 있지만 일부에서는 전동·전열에만 사용하는 경우도 있다. 이와 같은 경우 전압불평형이 상대적으로 높게 나타날 수 있다.

전압불평형은 식 (1)과 같이 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2)의 비율로서 정의하고 있다. 역상분 전압은 최로 내 흐르는 불평형된 부하의 역상분 전류에 의해 주로 발생한다.

2.2 전압불평형 측정 및 결과분석

전압 불평형율의 크기를 확인하기 위해 수용가를 대상으로 3상 4선식 분전반에서 전력분석기로 전압 및 전류 파형을 측정하였다. 측정에 사용된 프로브는 600[V], 500[A]까지 가능하다. 측정시간은 각 장소에서 1초간격으로 10분간 실시하였다.

다음 그림 1은 저압 3상 4선식 수용가에서 측정한 순시치 결과들이다.

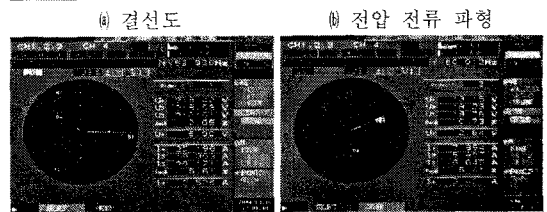
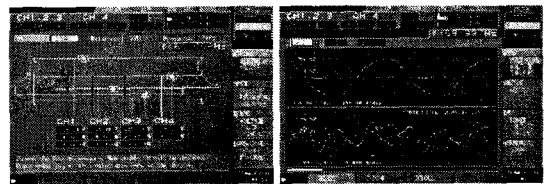


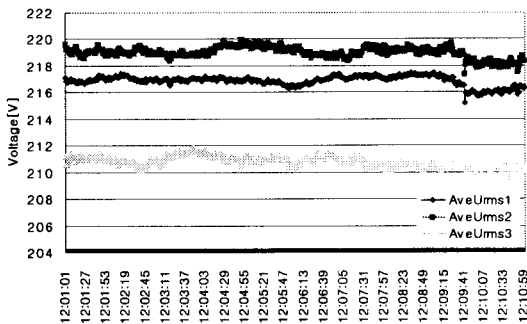
그림 1. 결선도, 측정파형 및 벡터도

그림 1에서 (a)는 결선도와 선간 전압, 전류값을 나타낸 것으로서 중성선과 접지단자 사이에는 약 9[V]정도의 전압이 나타나고 있다. 그림 1(b)는 전압·전류 파형을 나타낸 것으로서 전압 파형은 컴퓨터와 같은 비선형부하의 영향으로 플랫폼(flat-top)형상이고, 전류는 고조파성분이 포함된 왜형파이다. 그림 1(c)는 전압 및 전류의 기본파에 대한 벡터도를 나타낸 것으로서 전압의 경우 약

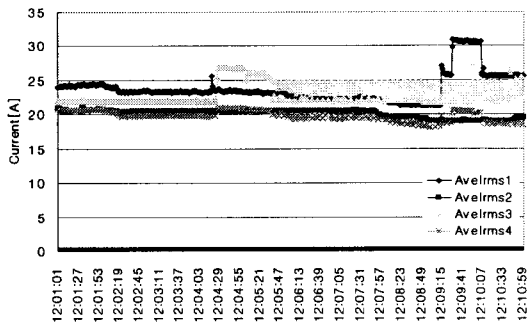
간의 비대칭을 하고 있으며, 전류의 경우에는 증성선에 흐르는 전류값의 존재로 인해 비대칭의 크기가 전압파형에 비해 높다. 그림 1(c)에서 상전압은 I_3 에 흐르는 단상부하의 영향에 의해 U_3 상에 걸리는 전압이 다른 2상에 비해 낮아 0.69[%]의 전압불평형이 순간적으로 나타나고, 전류불평형은 5.61[%]로서 3상 4선식의 부하불평형 허용범위내이다. 전압불평형 및 비선형부하의 사용으로 3조파 성분이 상대적으로 매우 높다. 그림 1(d)는 3조파의 전압 및 전류벡터로서 부하불평형에 의해 증성선에 흐르는 전류 I_4 는 기본파 전류값 보다 매우 높으며, 다른 상에 흐르는 전류값과 거의 차이가 없다.

국내 수용가는 대부분 단상 및 3상 부하에 동시에 전원공급이 가능한 3상 4선식 380/220[V] 배전 시스템을 채택하고 있다. 이와 같은 전원공급 설비에서 전압 불평형의 크기를 확인하기 위해 단상부하가 동력부하 비율보다 높은 경우와 동력부하가 단상부하보다 높은 경우에 대해 각각 비교 측정하였다.

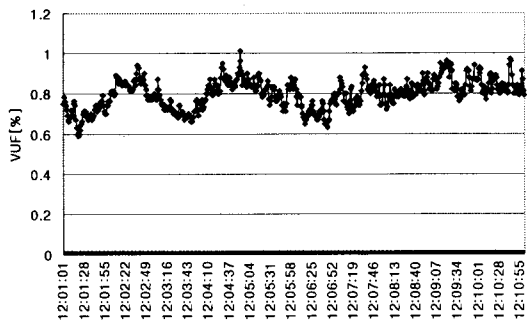
그림 2는 단상 부하의 사용이 동력부하보다 많은 수용가의 3상 4선식 배전방식에서의 대지전압 및 전류를 1초 간격으로 10분간 측정된 결과이다.



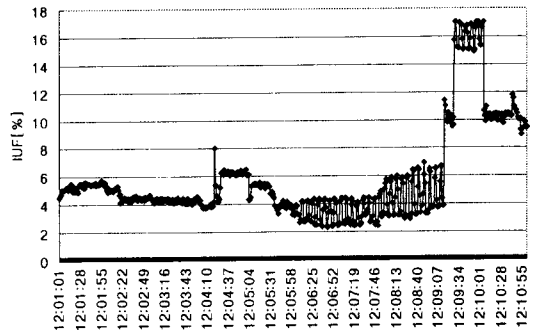
(a) 전압 파형



(b) 전류 파형



(c) 전압불평형률 (VUF)

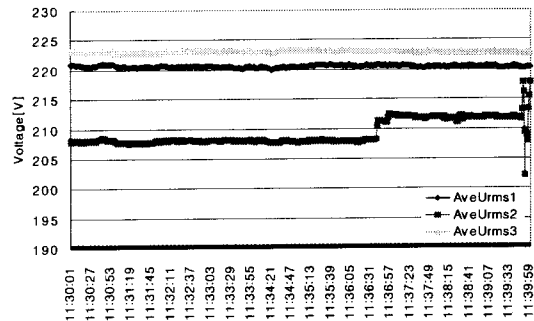


(d) 전류불평형률 (IUF)

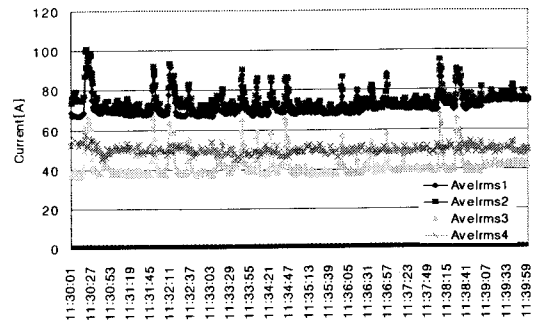
그림 2. 전압·전류파형 및 불평형률

그림 2에서 전압은 상전압 실효값으로 부하전류의 영향으로 약간의 전압변동을 나타내고 있다. 그림 2(b)는 각상의 부하전류에 대한 변동을 나타낸 것으로서 시간에 따라 약간의 변화를 나타내고 있다. 그림 2(a)와 (b)는 그림 2 (a)와 (b)에 대한 전압 및 전류에 대한 불평형률을 나타낸 것으로서 전압불평형은 국제 기준에서 정한 전압 허용오차 범위 이내임을 알 수 있다.

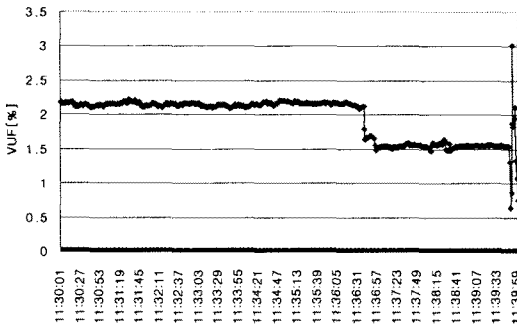
그림 3은 동력부하가 단상 전등 및 전열부하보다 많이 사용되는 수용가의 3상 4선식 배전방식에서의 대지전압 및 전류를 1초 간격으로 10분간 측정된 결과이다.



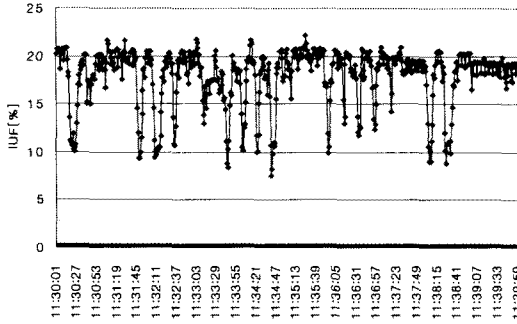
(a) 전압 파형



(b) 전류 파형



(a) 전압불평형률[VUF]

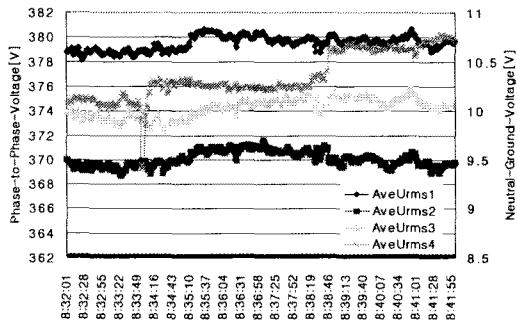


(b) 전류불평형률(IUF)

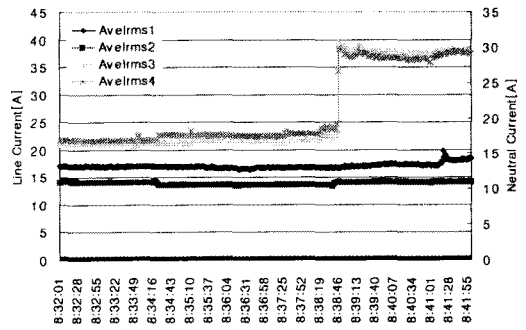
그림 3. 전압·전류 파형 및 불평형률

그림 3(a)에서 순간적으로 어느 한상에 걸리는 높은 비율의 단상 부하에 의해 전압은 상대적으로 낮아 그림 3(b)에서와 같이 전압불평형은 높게 나타나지만, 부하의 균등한 분배가 이루어질 경우 전압불평형은 낮아진다. 그림 3(b)는 전류파형으로서 상전류가 운전시 2배정도의 차이가 나며 순간적인 변동이 크다. 따라서 전류불평형도 같은 형태를 가지고 있다.

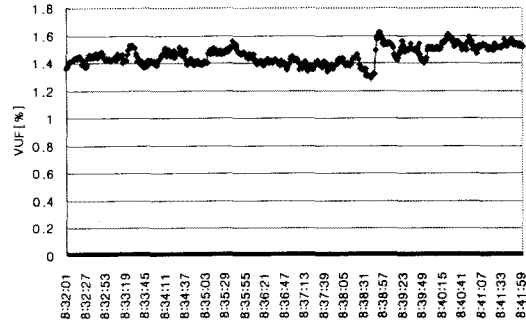
그림 4는 단상부하가 주류를 이루고 있는 3상 4선식에서의 중성선에 걸리는 전압을 고려한 선간전압 및 상전류의 측정결과이다. 그림 4(a)에서 약 10[V] 정도의 전압크기가 존재하며, 영상분 전압은 부하의 변동에 따라 변동이 크다. 그림 4(b)에서와 같이 부하변동이 갑자기 이루어질 경우 전류불평형은 상대적으로 허용범위를 초과할 수 있다.



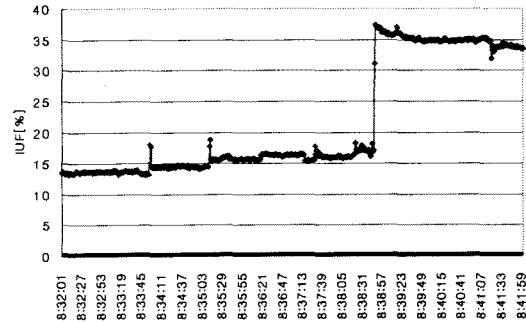
(a) 전압파형



(b) 전류파형



(c) 전압불평형률[VUF]



(d) 전류불평형률(IUF)

그림 4. 전압·전류 파형 및 불평형률

3. 결 론

저압 수용가에 단상 및 동력부하를 함께 사용할 수 있는 3상 4선식 전원공급시스템에서 불평형에 대한 측정결과를 실시하였다. 부하의 사용이 각상에서 일정하게 이루어질 경우 전압 및 전류불평형은 큰 변동이 없지만, 단상부하의 갑작스런 사용증가는 전류 및 전압불평형의 비율을 매우 높인다. 전압불평형의 경우 기준에 따른 허용범위의 최대값에는 들어가나, 정밀한 제어를 위한 범위에는 포함되지 않는 경우도 발생한다.

[참 고 문 헌]

- [1] NEMA MG-1-2003
- [2] J. Schlabbach, et al, "Voltage Quality in Electrical Power Systems", IEE, 2003
- [3] 김종겸, 이은웅, "불평형 전압으로 운전시 비선형 부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 6호, pp. 285-291, 2002.6