

단상 및 3상 부하 혼합 운전에 따른 전압 불평형을

김종겸, 박영진, 이은웅
원주대학, 원주대학, 충남대학

Voltage Unbalance Factor by Mixing Operation of Single & 3phase load

Kim Jong-Gyeum, Park Young-Jeen, Lee Eun-Woong
Wonju National College, Wonju National College, Chungnam Univ

Abstract - 3상 4선식 배전방식은 우리나라 저압 수용가에 널리 채용되고 있다. 단상과 3상을 혼합하여 사용하는 경우가 많아 전압불평형에 의한 여러 가지 문제를 발생하고 있다. 3상 4선식 배전시스템에서 3상 동력용으로 단독사용일 경우에는 별로 문제가 되지 않지만, 단상 부하와 3상 부하를 혼용사용할 경우에는 부하의 불평형에 의한 어떤 문제를 발생하는지에 대해 저항성 및 유도성 부하를 대상으로 전압불평형율을 측정하고 분석하였다.

효값으로 나타내지므로 간단하게 간략화한 방법도 사용하고 있다.

전압불평형율은 식 (1)과 같이 정상분 (V_1)에 대해 역상분 (V_2) 또는 영상분 (V_0)의 비율로서 정의하고 있다. 역상분 전압은 대개 회로내 흐르는 불평형된 부하의 역상분 전류에 의해 주로 발생한다. 영상분을 전압불평형율 산정에 고려할 경우에는 반드시 3상이 대칭이어야 한다.

1. 서 론

전기품질에는 여러 가지 현상이 있다. 짧은 시간 동안에 영향을 주는 새그나 스웰 또는 과도현상이 있고, 오랫동안 시스템에 영향을 미치는 고조파나 전압불평형이 있다[1-3]. 이 전압 불평형은 주로시스템의 동작시 전원과 부하측의 운전특성에 의해 발생하지만 주로 부하에 더 많은 영향을 받는다.

우리나라 저압 배전시스템에 채택되고 있는 3상 4선식 배전방식은 간선 및 분기선에 단상과 3상, 선형 및 비선형 부하를 평형에 가깝게 배분하여 설계한 다음 운영하고 있지만, 부하의 실비 증설 또는 각 상의 부하분담이 다르거나 운전상황에 따라 부하 전류가 달라질 경우 임피던스 값의 변화로 각 상전압의 변화가 발생하게 된다. 그리고 약간의 전압 불평형은 큰 전류 불평형을 일으키고 이로 인해 손실이 증가하여 기기의 출력을 감소시킨다[2-5].

전압불평형율은 전압의 크기와 위상각에 따라 많은 차이를 발생하는데 전압의 변동은 부하전류의 크기에 의해 영향을 받지만, 위상각은 부하 임피던스에 좌우된다. 우리가 사용하는 부하에는 선형 및 비선형 부하와 저항성 및 유도성 부하등이 있다. 이들 부하가 3상 4선식 시스템에 연결되어 운전될 경우 어떤 특성변화로 인해 전압 불평형율로 나타나는지를 실제 부하의 운전에 의한 측정을 실시하고 분석하고자 한다.

2. 전압불평형율

2.1 전압불평형율 계산

전압불평형의 발생원인은 3상 전원에서 단상부하의 불평형 배분과 운전 및 불평형된 3상 부하 임피던스 연결 때문이다. 또한 평형된 3상 부하라도 불평형 전원에 연결되면 유입 전류는 불평형이 된다. 따라서 3상의 각 상에 서로 다른 전압강하로 전압불평형이 발생한다.

전압불평형은 대칭좌표법에 의해 구하거나 도식적으로 나타낼 수 있다. 그러나 현장에서 측정할 경우 대개 실

$$VUF_1 = \frac{V_2}{V_1} = \frac{V_0}{V_1} (3\text{상 대칭시만 적용 가능}) \quad (1)$$

일정기간동안의 전압불평형율을 찾아내기 위해서는 각 상의 선간전압의 크기만으로 계산이 가능한 식 ②와 같은 관계식을 이용한다. 식 ②는 각 상의 선간전압만 알 경우 전압불평형율을 쉽게 구할 수 있으므로 가장 널리 이용하고 있다.

$$VUF = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\gamma}}{1+\sqrt{3-6\gamma}}} \quad (2)$$

식 ②에서 γ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{|V_{ab}|^4 + |V_{bc}|^4 + |V_{ca}|^4}{(|V_{ab}|^2 + |V_{bc}|^2 + |V_{ca}|^2)^2}$$

식 ③은 측정된 전압값을 대칭좌표법에 의한 해석이 필요하지만 식 ②의 경우 측정된 값을 현장에서 바로 결과를 알 수 있기 때문에 편리하며, 식 ③과 동일한 결과를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서도 측정된 결과의 분석에는 식 ②와 같은 방법으로 진행하였다.

2.2 전압불평형율 기준

전압불평형에 의한 영향을 줄이기 위해 여러 가지 방법과 허용범위를 제한하고 있다. 우리나라의 경우 단상 전력을 많이 사용하는 전기철도에서는 3% 이하로 제한하고 있고, 외국의 경우 부하기기의 효율을 최대한 보장하기 위해 3% 이내로 제한하는 경우가 대부분이다. 또한 전압별로 전압불평형율에 대한 범위를 설정 운영하는 경우도 있으며, 측정기간에 따라 또는 측정부하의 동작기간에 따라 분류하는 경우도 있다. 표 1은 국내에서 규정하고 있는 전압불평형율에 대한 허용범위이다.

표 1 전압불평형율 허용범위

관련규격	허용범위[%]	비고
NEMA	1.0	at the motor terminals
IEC-3000-3-x	<2.0 (LV,MV)	measured as 10-minute values, with instantaneous maximum of 4%
	<1 (HV)	
IEC 61000-2-12, 61000-2-2	2	Low voltage characteristics according to EMC Std EN 61000
EN 50160 [supply voltage]	2(LV,MV)	Supply voltage characteristics according to Std EN 50160
	3	in some locations
IEEE	0.5~2.0	steady state
EDF France	2	
ANSI C84.1	3	at the electric-utility revenue under no-load conditions
EN50178	2	(V_0/V_1 비대칭)
NRS 048-2	2	단상 또는 2상 수용가가 많은 경우 3%
일본전기공업회	2.8	정상운전시, 장기간 수명보장을 위해서는 1[%]이하
전기설비 기술기준	3	변압기의 결선방식에 따른 변전소 수전점에서

표 1에서와 같이 기기제작사는 규정된 출력값을 보장하기 위해 허용범위를 낮추고 있지만, 거의 모든 나라에서는 규정하고 있는 전압불평형율의 허용범위를 조건에 관계없이 대부분 3% 이내로 제한하고 있다.

3. 측정 및 결과 분석

3상 4선식 배전시스템에서 단상과 3상 부하의 혼합운전에 따른 전압불평형율의 특성변화를 측정 분석하였다. 측정간격은 10분으로 선형부하인 단상 및 3상 부하의 단독 및 혼합운전에 대한 측정 결과이다. 부하의 구성은 다음과 같다. 단상 부하는 전동기 부하[1], 전등부하[2], 저항부하[3] 그리고 3상부하는 유도전동기[4]가 사용되었다.

표 2. 운전조건

운전순서	부하종류	VUF[%]	CUF[%]
1	1	1.52	100
2	2	2.34	100
3	3	2.70	100
4	1+1	0.96	31.2
5	1+2	0.87	16.2
6	1+3	1.0	26.6
7	1+1+2	0.49	16.2
8	1+2+3	0.79	21.0
9	2+3	3.99	54.1
10	1+3	0.94	86.5
11	1+2	3.03	47.2
12	1+2+3	0.27	62.7

그림 1은 표 1과 같은 조건을 실행하기 위한 현장측정모습을 나타낸 것이다.

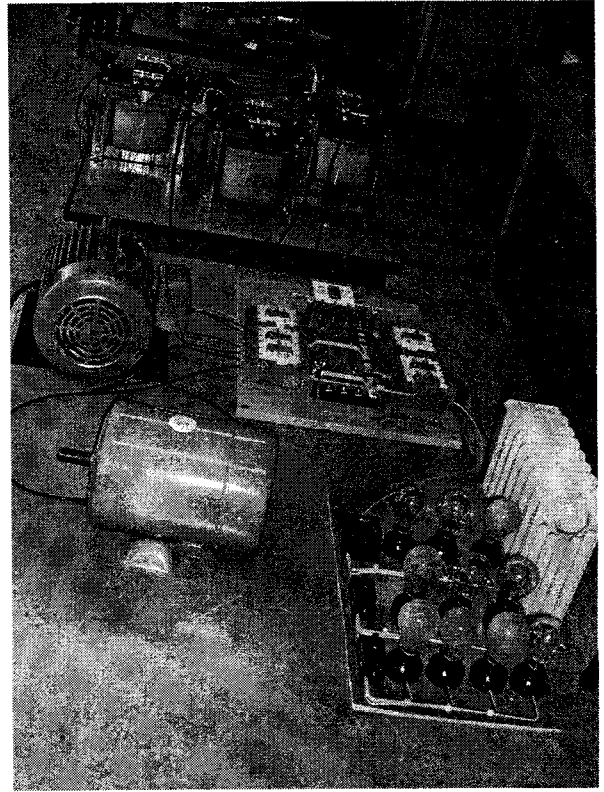
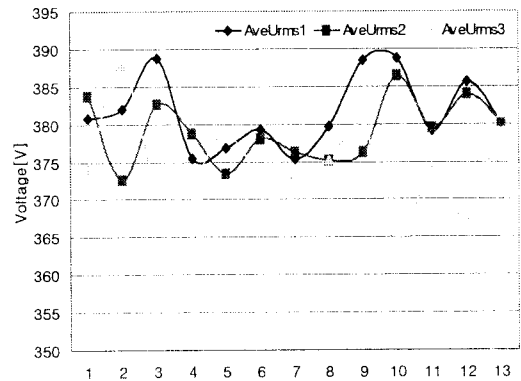
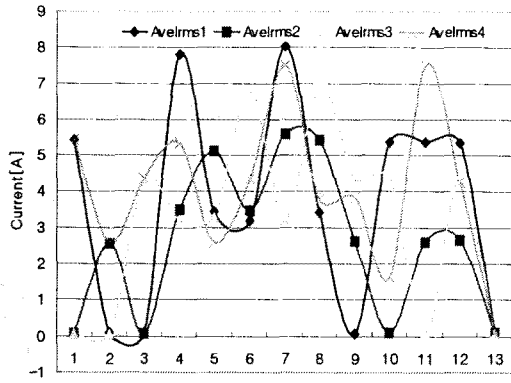


그림 1. 실제 측정 현장

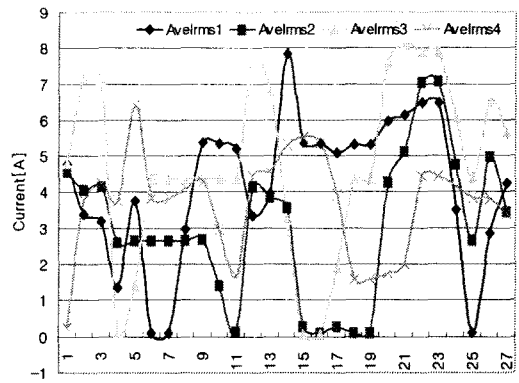
그림 2에는 표 2와 같은 조건의 부하를 순서대로 운전한 경우 전압파형으로서 단상부하가 주로 사용된 앞부분과 후반부는 전압의 변화가 높지만, 3상 부하에 단상부하를 추가로 운전한 중간부분에서는 상대적으로 낮은 전압변화를 나타내고 있다. 그림 2에는 전류파형으로서 같은 운전조건에서 3상의 각상에 단상부하만 개별적으로 운전할 경우 전류값의 변화가 심하고, 3상과 같이 운전할 경우에는 각상의 전류값에 차이는 다소 줄어든다. 그림 2에는 전압 및 전류불평형율을 나타낸 것으로서 3상 부하와 단상부하가 함께 운전하는 중간부분에서는 전압 및 전류불평형율이 매우 낮지만, 단상부하가 운전할 경우에는 높은 불평형율을 나타냄을 확인할 수 있다.



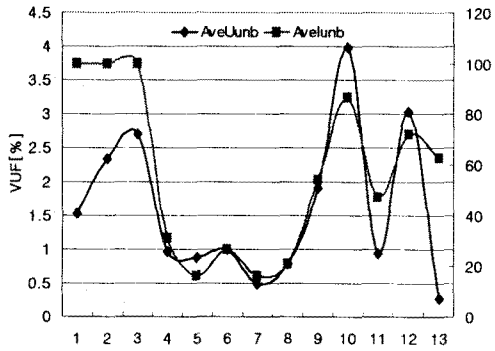
선간전압 크기 변화



전류의 변화

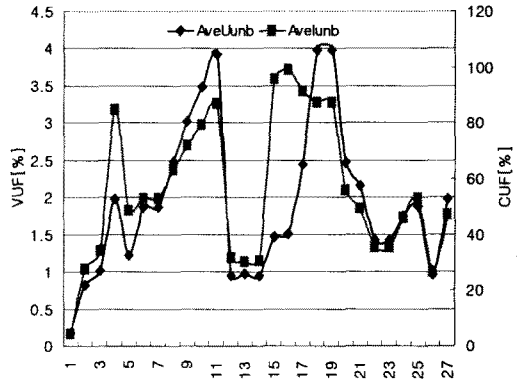


전류의 변화



(a) 전압 및 전류 불평형을

그림 2 단상 및 3상 부하 혼합운전에 따른 결과

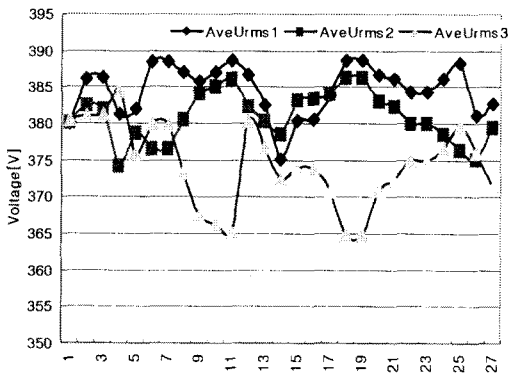


(b) 전압 및 전류 불평형을

그림 3. 단상 및 3상 부하의 랜덤 운전에 따른 결과

다음 그림 2는 그림 1과 같은 부하를 랜덤하게 운전 할 경우 측정된 결과이다. 그림 2(a)에서와 같이 선간전압의 변화가 가장 큰 11과 19 근처의 포인트에서 전압변동폭이 높아짐에 따라 그림 2(b)에서처럼 전압불평형율의 크기는 상대적으로 높아 허용범위를 초과하게 된다.

일반적으로 전압불평형율이 높게 나타나는 이유는 부하전류값에 의한 전압불평형이지만, 부하 임피던스 위상에 의한 영향이 가장 큰 요인이다.



선간전압 크기 변화

3. 결 론

대부분의 경우 허용범위내이지만 부하의 변동이 심하거나 임피던스 변화에 큰 차이가 존재할 경우 기준을 벗어난 경우가 존재함을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 산업자원부 및 한국전력공사의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001.
- [2] 김종겸, 박영진, 이은용, "3상 4선식 수용가의 전압불평형율 측정 분석", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회, pp.43-47, 2004. 5
- [3] 김종겸, 이은용, "불평형 전압으로 운전시 비선형 부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 6호, pp. 285-291, 2002.6
- [4] 김종겸, 박영진, 이은용, "3상 4선식 부하설비의 전압불평형율 허용기준(안)제정" 중간보고서 2004. 9
- [5] 김종겸, 박영진, 이은용, "전압불평형율의 비교분석", 대한전기학회 전기설비전문위원회 발표논문, 2004. 11