

저항성 및 유도성 부하의 운전시 전압불평형율의 비교

김 종 겸*, 박 영 진*, 이 은 웅*, 이 종 한**, 이 동 주**

원주대학, 원주대학, 충남대학, 충남대학, 충남대학

Comparison of VUF using Resistor & Inductive Load

Kim Jong-Gyeum, Park Young-Jeen, Lee Eun-Woong, Lee Jong-Han, Lee Dong-Ju
Wonju National College*, Chungnam National University**

Abstract - 3 phase 4-wire system has been widely used in the customer's application due to merit of 1 bank construction of loads such as 1-phase lighting, heat and 3-phase motor. But if the load distribution is not uniformed by the operation conditions, voltage unbalance is highly appeared by the difference of each phase current value. Especially, if the linear load such as resistance or inductive load has different power factor value, voltage unbalance factor is not the same due to the phase angle and magnitude of each phase voltage. In this paper, we composed the measurement device and analyzed by varying of load pattern.

1. 서 론

단상 및 3상 부하에 1 bank 변압기로 전원 공급할 수 있는 3상 4선식 배전시스템이 널리 사용되고 있다. 각상에 일정한 부하의 배분이나 운전시 전압불평형이 낮지만, 각상의 부하의 불평형운전이나 임피던스에 약간의 차가 있을 경우 전압불평형으로 높은 전류불평형으로 손실증가는 물론 출력감소를 발생시킨다. 특히 연결되는 부하가 저항성 또는 유도성 부하와 비선형부하의 사용시 임피던스 값의 변화에 따른 위상각의 차이는 전압불평형을 계산시 크기와는 별도로 고려되어야 한다. 본 연구에서는 선형부하인 저항 및 유도성 부하를 사용할 경우 각 상에 단독으로 운전할 경우 발생하는 전압불평형율에 어떤 특성변화를 가지지 측정을 통해 분석하였다.

2. 전압불평형

2.1 전압불평형율

전압불평형은 3상 전원에서 단상부하의 불평형 배분과 운전 및 불평형 3상 부하 임피던스 연결 때문에 주로 발생한다. 평형된 3상 부하라도 불평형 전원에 연결되면 유입 전류는 불평형이 된다. 따라서 3상의 각상에 서로 다른 전압편차 및 위상차로 전압불평형이 발생한다. 전압불평형율(VUF:Voltage Unbalance Factor)은 식 1과 같이 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2)의 비율로 정의 한다[1-3].

$$VUF_1 = \frac{V_2}{V_1} \quad (1)$$

현장에서 측정한 3상 선간전압의 실효값으로 불평형을 산출할 경우 식 2를 이용하면 각 상에 대한 위상각을 고려하지 않고 전압의 크기만으로도 식 (1)과 같이 전압불평형율을 정확하게 구할 수 있다.

$$VUF_2 = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3}-6\beta}{1+\sqrt{3}-6\beta}} \quad (2)$$

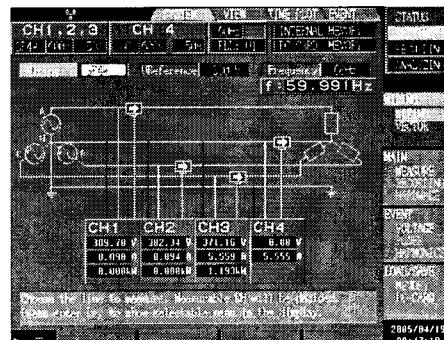
식 (2)에서 β 는 선간전압 V_{AB} , V_{BC} , V_{CA} 로 나타내진다.

$$\beta = \frac{|V_{AB}|^4 + |V_{BC}|^4 + |V_{CA}|^4}{(|V_{AB}|^2 + |V_{BC}|^2 + |V_{CA}|^2)^2}$$

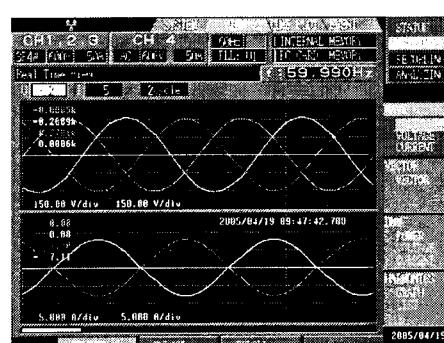
2.2 전압불평형 측정

배전시스템에서 저압 수용가에 전력을 공급하는 방식에서 용량이 서로 다른 단상 변압기 3대를 1차측 A, 2차측 Y결선하여 부하에 공급할 경우 측정하였다. 저항성 부하로는 전등을 사용하였고, 유도성 부하는 단상 유도전동기를 연결하였다. 부하는 C상에 연결하였으며, 전압불평형에 대한 자료의 분석을 위해 전류값은 비슷하게 흐르게 하였다. 선형부하로 고조파성분이 매우 낮기 때문에 여기서는 기본파 성분만의 벡터도를 표시하였다.

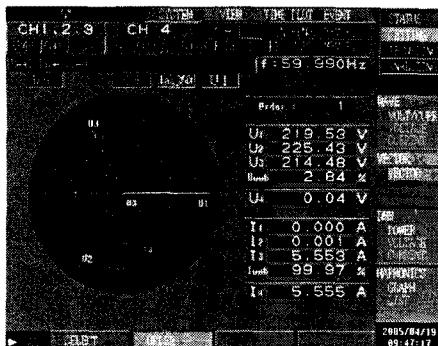
3. 저항성 부하



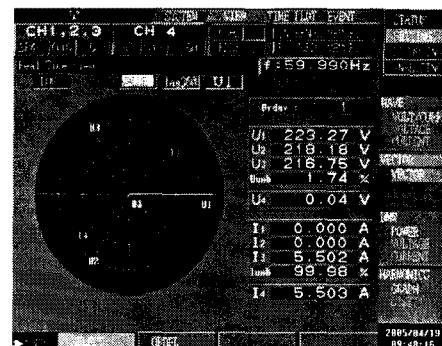
3. 결선도



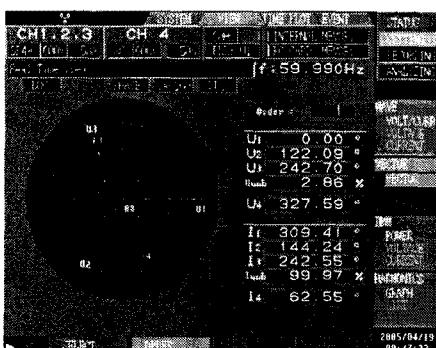
4. 전압 전류 파형



① 전압 크기 벡터도



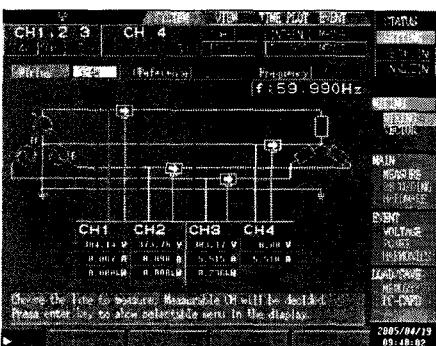
② 전압 크기 벡터도



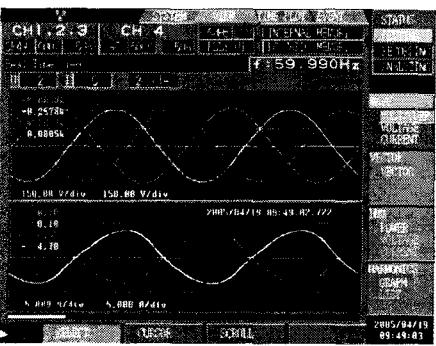
③ 전압 위상 벡터도

그림 1. 저항성부하 전압·전류파형 및 벡터도

④ 유도성 부하



④ 결선도



⑤ 전압 전류 파형



① 전압 위상 벡터도

그림 2. 유도성부하 전압·전류파형 및 벡터도

2.3 측정결과 분석

① 저항성 부하

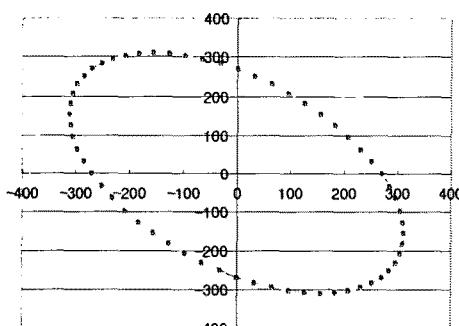
그림 1의 ①~④는 3상 4선식 시스템의 결선도를 나타낸 것으로서 c상에만 부하가 연결되어 전류가 흐르고 있으며, 이 전압 및 전류 파형은 그림 1b와 같다. 각 상의 전류 불평형율에 해당하는 값이 바로 중성선에 그대로 흐르고 있음을 알 수 있다. 그림 1c와 1d는 각각 기본파성분에 대한 전압과 전류의 크기와 위상각 벡터도를 나타낸 것이다. 그림 1에서 전압값은 상전압이고, 위상각은 U_1 을 기준으로 벡터회전을 표시하고 있다. 부하가 c상에 연결되어 있으므로 해당하는 상전압은 다른 상의 전압값에 비해 낮게 나타난을 확인할 수 있다. 이는 역률이 거의 1인 저항성 부하로 부하가 걸려있는 상의 전류와 전압벡터가 공상이기 때문이다. 상전압의 평균값(V_{avg})은 219.503[V]로서 각 상전압의 최대 차이는 5.577[V]가 되지만, 위상각을 고려하여 선간전압으로 변환할 경우 평균값은 380.345[V]이고, 평균값과의 최대 차이는 8.868[V]가 된다. 그림 1e에서와 같이 전압 위상각은 3상 정확한 120° 위상각을 나타내지 못하고 약간의 편차를 발생함을 알 수 있다. 부하가 걸려 있는 상의 전류와 해당되는 상의 전압이 같은 위상일 경우 전압값은 낮아짐을 알 수 있다. 이와 같은 조건에서의 전압불평형율은 2.897[%]가 된다.

② 유도성 부하

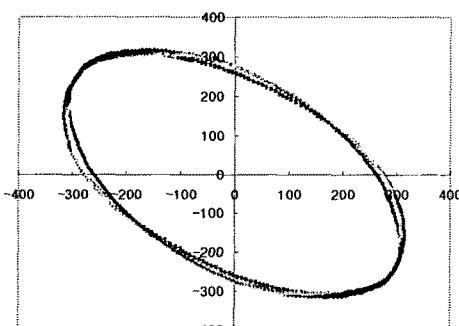
그림 2의 ①~④는 3상 4선식 시스템의 결선도를 나타낸 것으로서 저항성 부하와 같은 조건하에서 전압불평형율의 변화를 확인하기 위해 c상에만 유도성 부하를 연결시켜 전류를 흐르게 하였으며, 이 전류의 파형은 그림 2b와 같다. 그림 2e에서 알 수 있듯이 유도성 부하이기 때문에 저항성 부하와는 달리 부하가 연결된 상의 전류값과 전

압은 위상차가 존재하기 때문에 실제 전압값은 저항성 부하와는 달리 약간 낮은 값을 가지게 된다. 특히 각 상의 전류불평형에 해당하는 값이 바로 중성선에 그대로 흐르되 저항성 부하때와는 달리 전압과 전류에 대한 위상차가 존재함을 알 수 있다. 그림 2 (b)와 (d)는 각각 전압 전류의 크기와 위상각 벡터를 나타낸 것이다. 그림 2에서 전압값은 상전압이고, 위상각은 U_1 을 기준으로 벡터회전을 표시하고 있다. 부하가 c상에 연결되어 있으므로 해당하는 상전압은 다른 상의 전압값에 비해 낮게 나타남을 알 수 있다. 상전압의 평균값(V_{avg})은 219.167[V]로서 각 상전압과의 최대 차이는 4.043[V]로서 평균값은 유도성 부하와 같지만 평균값의 차이는 약간 낮게 나타나고 있다. 위상각을 고려하여 선간전압으로 변환할 경우 평균값은 380.345[V]이고, 평균값과의 최대 차이는 7.559[V]로서 평균값은 약간 낮고, 평균값과 선간전압의 차이는 저항성부하에 비해서 약간 낮다. 그럼 2(d)에서와 같이 전압 위상각은 저항성 부하에 비해 3상 대칭에 가까운 벡터도를 나타내고 있다. 이와 같은 조건하에서의 전압불평형율은 1.798[%]로서 같은 부하전류인 저항성 부하에 비해 낮게 나타남을 확인할 수 있었다.

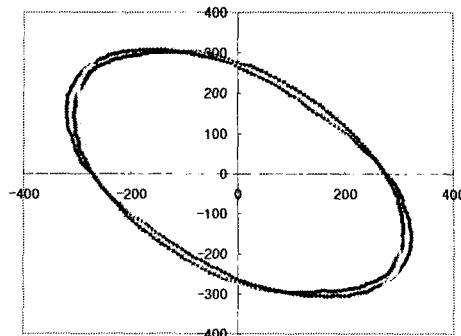
그림 3은 완전 평형시 및 불평형시 전압의 변화에 따른 위상각 변화를 상별 전압의 크기로 나타낸 것이다. 그림 3(a)와 같이 크기와 위상각이 정확하게 대칭일 경우 3상 전압의 크기와 위상각은 하나의 일치된 타원궤적으로 나타내지지만, 저항성 부하나 유도성 부하의 경우 전압불평형이 존재하면 상간 전압은 전압의 크기와 위상각에 따라 다른 형태의 궤적을 그리게 된다.



(a) 완전 평형시



(b) 저항성 부하



(c) 유도성 부하

그림 3. 평형, 저항성 및 유도성 부하에서의 3상 위상각

3. 결 론

전압불평형은 부하의 임피던스 변화에 의해 주로 발생한다. 3상 4선식 전원공급 시스템에서는 단상 및 3상 부하가 함께 사용되기 때문에 부하측에는 항상 임피던스의 불평형이 발생한다. 이 임피던스의 값의 차이는 부하전류값의 변화와 함께 전압에 대한 위상각의 변화를 발생하게 되어 전압불평형을 계산에 큰 변수로 작용한다. 3상 부하만을 사용할 경우 큰 문제는 없지만, 단상 부하인 저항성 부하와 유도성 부하의 경우 역률값의 차이에 따른 위상각변화는 전압의 크기 외 불평형을 계산에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 같은 전류값을 가지는 저항성 및 유도성 부하로 측정하였다. 측정결과 부하 전류값의 차이가 없는 경우 저항성 부하가 유도성 부하보다 위상차 변화가 높아 전압불평형율에 큰 영향을 준다는 것을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산업자원부 및 한국전력공사의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] 김종겸, 박영진, 정종호, 이은웅, “불평형 전압 운전 시 유도전동기의 동작 특성 해석” 대한전기학회 논문지(B), 제 53권, 6호, pp.372-379, 2004.6
- [2] 김종겸, 박영진, 이은웅, “부하변동에 의한 전압불평형율의 특성 해석”, 대한전기학회 논문지(P), 제 54권, 1호, pp.47-52, 2005.3
- [3] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001.