

A New Analysis for Load Unbalance Factor

金宗謙[†]
(Jong-Gyeum Kim)

Abstract - Most of the load distributions in low voltage power feeder distribution systems are designed with approximately balanced and connected at the three phase four wire systems. However, in the user power distribution systems, most of the loads are single & three phase and unbalanced, generating load unbalance. Load unbalance factor is mainly affected by the impedance of load system. Unbalanced current will draw a highly unbalanced voltage. This paper presents a new calculation method for unbalance factor under the load variation at the three phase four wire system. Load unbalance factor is measured by the power quality measurement apparatus and compared with the current unbalance factor. Two methods are indicated similar results.

Key Words : Load unbalance, Current unbalance, Voltage unbalance, Impedance unbalance, Power quality

1. 서 론

부하의 최적운전을 위해 안정적인 전기품질의 확보는 매우 중요하다. 배전설비에서 설계시에 각상의 부하를 일정하게 배분하여도 운전시에 항상 일정한 패턴으로 운전되는 것이 아니라 상황에 따라 달라지므로 부하에 인가되는 전압의 크기와 부하의 임피던스에 따라 복잡한 상황이 전개될 수 있다.

저압 수용가에 적용되고 있는 3상 4선식 전원공급 방식은 하나의 변압기 뱅크 구성으로 단상 부하와 3상 부하에 모두 전원 공급이 가능한 편리한 방식이지만, 부하의 운전패턴에 따라 전압품질 중에서 가장 중요한 몫을 차지하는 전압불평형의 발생으로 부하 및 전원측에 여러 가지 문제를 발생시킬 수 있다[1-3].

3상 4선식 배전방식으로 전원 공급하는 경우 단상 및 3상 부하가 혼합 연결되지만, 실제 운전은 단독 또는 혼합 운전되는 경우가 많아 부하의 임피던스에 따라 전압의 크기와 위상각에 의해 전압 불평형율이 달라진다[1,2]. 전압 불평형율이 달라질 경우에는 각 상에 흐르는 전류값도 또한 달라진다. 전압 불평형은 바로 전류 불평형에 결정적인 역할을 하는 것으로서 여러 가지 방법으로 최대한 평형에 가깝게 부하가 배분되도록 운전하는 것이 바람직하다.

단상 3선식, 3상 3선식 및 3상 4선식 설비에서 각 상에 흐르는 전류값의 비율을 일정하게 조정하기 위해 설계시에 분담하는 전력의 비율을 일정하게 배분되도록 부하의 불평형율을 일정범위 이내로 제한하고 있다[4]. 그러나 부하의

설계시 분담비율과는 달리 운전시 부하의 운전이 일정하지 않고, 연결된 부하의 임피던스도 달라지므로 설계와는 달리 각 상에 분담되는 전력은 당초 계획과는 다른 상황이 전개될 수 있다.

각 상에 흐르는 전류의 분담율을 일정하게 하여 부하의 불평형율을 최대한 낮추는 것은 전압의 불평형율을 낮추어 시스템의 손실감소로 출력을 증가시킬 수 있으므로 정확한 부하 불평형율의 계산이 필요하다. 그러나 현재 규정되어 있는 설비 불평형율은 운전 중인 부하에 대한 것이 아니라 운전 전에 앞서 설계시의 부하배분에 대한 것이므로 정확한 부하의 불평형율 산정 결과를 반영하는데 약간의 문제점을 안고 있다. 또한 불평형율을 구하기 위해 정격 전압과 부하 전류값을 함께 사용해야 하므로 전압 또는 전류의 개별 변동에 대한 불평형율의 특성변화는 고려할 수 없었다.

따라서 본 연구에서는 기존의 설비 불평형율에 대한 것들 부하 배분과 운전 패턴에 따라 불평형율이 어떤 차이가 있는지를 변동성을 가진 부하운전에 적용시켜 전압 및 전류값에 의한 피상전력으로 불평형율을 구하는 것보다 전류값만으로도 간단하게 구할 수 있음을 제시하고자 한다.

2. 불평형율

2.1 부하 및 설비 불평형율

부하에 일정한 전력의 공급은 시스템의 최적운전에 가장 효과적이지만, 전원측의 전압변동이나 3상 부하 임피던스에서 각상에 약간의 차이가 존재할 경우 전압 불평형이나 부하의 불평형을 초래할 수 있다[1].

3상 시스템에서 부하 임피던스 차이는 고르지 못하게 분포된 단상부하 또는 고장에 의해 주로 발생하며, 전원 임피

[†] 교신저자, 正會員 : 國立 原州大 電氣科 副教授 · 工博
E-mail : jgkim@wonju.ac.kr
接受日字 : 2005年 12月 19日
最終完了 : 2006年 3月 14日

던스는 대형 부하 임피던스와 일정하지 못한 전원 출력 임피던스에 의해 발생한다. 불평형 부하는 상간 부하전류 실효값이 다르거나 같은 전류라도 서로 다른 위상차 또는 둘 다를 포함하는 경우도 해당된다.

저압으로 전원을 공급받는 경우 중성선과 각 전압측 전선간 또는 전선간의 부하는 평형이 되는 것을 원칙으로 하고 있지만, 부득이 한 경우에는 일정한 범위내에서 불평형을 인정하고 있다. 단상 3선식에서의 부하 불평형율은 부득이한 경우 40[%]까지 그리고 3상 3선식 또는 3상 4선식으로 운전하는 설비에서 불평형율은 30[%]이하로 유지하도록 권고하고 있다[1,4,5].

현재 단상 3선식, 3상 3선식 및 3상 4선식에 대한 설비의 불평형율은 부하의 불평형율(LUF ; Load Unbalance Factor)과 같은 것으로서 각각 식 (1), (2) 및 (3)과 같이 부하의 정격[VA] 또는 설비용량으로 계산한 것이다[1,4,5].

$$LUF_1 = \frac{\text{(중성선과 각전압측 선간에 접속되는 부하설비용량의 차)}}{\text{총부하설비용량의 } \frac{1}{2}} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$LUF_{3-3} = \frac{\text{(각 선간에 접속되는 단상부하 설비용량의 최대와 최소의 차)}}{\text{총부하설비용량의 } \frac{1}{3}} \times 100[\%] \quad (2)$$

$$LUF_{3-4} = \frac{\text{(중성선과 각전압측 선간에 접속되는 부하설비용량의 최대와 최소의 차)}}{\text{총부하설비용량의 } \frac{1}{3}} \times 100[\%] \quad (3)$$

식 (1)~(3)은 각각 단상, 3상 3선 및 3상 4선식 설비에 대한 불평형율을 나타낸 것으로서 부하의 운전조건과는 관계없이 계획시 포함된 모든 정격부하를 근거로 계산한 것이다. 그러나 실제 부하는 계획과는 달리 운전하지 않는 것과 예비 그리고 부하량에 따라 다르게 나타나므로 식 (1)~(3)은 운전조건에 따라 발생할 수 있는 변동 상황을 정확하게 반영하지 못한다. 따라서 정확한 불평형율을 구하기 위해서는 실제 사용되는 부하조건을 고려한 계산이 필요하다.

식 (4)는 실제로 운전 중인 설비에서 각상의 전압과 전류 그리고 위상차를 입력데이터를 사용하여 부하 불평형율을 계산하는 것으로서 식 (2), (3)을 근거로 하여 역률을 고려하지 않고 피상전력($S=VI$)만으로 구한 것이고, 식 (5)는 식 (4)와 같이 각상의 역률을 고려한 유효전력값($P=VI\cos\theta$)으로 불평형율을 구할 수 있다[1,2,5].

$$LUF_1(S) = \frac{3[\max(S_1, S_2, S_3) - \min(S_1, S_2, S_3)]}{(S_1 + S_2 + S_3)} \quad (4)$$

$$LUF_2(P) = \frac{3[\max(P_1, P_2, P_3) - \min(P_1, P_2, P_3)]}{(P_1 + P_2 + P_3)} \quad (5)$$

식 (4)와 (5)가 같은 부하 불평형율의 결과를 도출하기 위해서는 역률이 1이 되면 가능하다. 실제 부하가 일정할 경우 역률보상을 위해 사용하는 콘덴서의 추가는 유효전력이 아닌 피상전력과 무효전력이 변하므로 식 (5)보다는 식 (4)가 정확한 결과를 도출할 수 있다. 한편 식 (4)와 (5)는 운전 중인 부하에서 불평형율을 구할 수 있지만, 전압 및 전류 그리

고 위상각 등의 데이터를 입력 자료로 사용해야 하는 불편함이 존재한다.

2.2 전류 불평형율

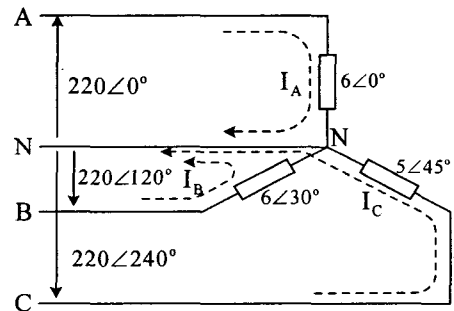
설계시에 각 상에 일정한 전력의 분담은 필수적이지만, 운전에 따라 각 상에 흐르는 전류는 서로 다르다. 이와 같은 각 상의 부하변동이 존재하는 경우에 대한 정확한 부하 불평형율을 계산에는 식 (1)~(3)에서 제시한 공식으로 표현하기에는 부정확한 결과를 제시할 수 있고, 식 (4) 및 (5)는 입력 데이터의 양이 많아지는 문제가 있다.

설계시에 적용되는 부하의 불평형율은 증감되는 부하에 대해서는 적용이 어렵고, 엔지니어가 쉽게 부하의 불평형율을 제한하여 배분하기에는 여러 가지 어려운 점이 있다. 이런 문제를 해결하는 방법으로서 운전 중인 부하를 대상으로 전압과 전류값을 동시에 구하지 않고 식 (6)과 같이 각 상에 흐르는 전류값만으로 불평형율을 구할 수 있는 전류 불평형율(CUF: Current Unbalance Factor)을 도입하여 증감되는 부하의 분배범위를 제한 범위 이내로 쉽게 계산할 수 있다.

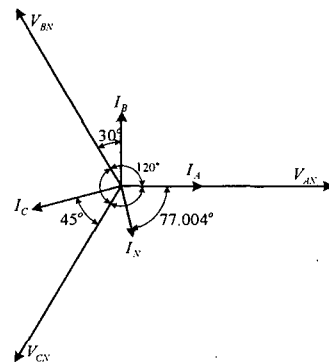
$$CUF = \frac{3[\max(|I_A|, |I_B|, |I_C|) - \min(|I_A|, |I_B|, |I_C|)]}{(|I_A| + |I_B| + |I_C|)} \quad (6)$$

3. 부하, 전류 불평형율의 계산 및 측정 분석

3.1 불평형율 계산



(a) 3ph-4 wire system



(b) Phasor diagram

그림 1 3상 4선식 시스템 및 벡터도

Fig. 1 3Phase 4wire system and vector diagram

3상 4선식 시스템의 경우 각 상에서의 전류분담이 달라질 경우 위상차는 존재한다. 그림 1(a)에서와 같은 3상 4선식에서 각 상의 부하가 불평형이면 걸리는 상전압은 같아도 그림 1(b)의 벡터도와 같이 전류값은 다르고, 각 상의 위상차는 120°가 아니며 중성선에는 전류가 흐른다.

그림 1과 같은 부하의 불평형에 의해 각 상에 흐르는 전류는 식 (7)과 같이 크기가 다르고 위상차는 비대칭이다.

$$I_A = \frac{V_{AN}}{Z_A} = \frac{220 \angle 0^\circ}{6 \angle 0^\circ} = 36.667 \angle 0^\circ \quad (7)$$

$$I_B = \frac{V_{BN}}{Z_B} = 36.667 \angle 90^\circ$$

$$I_C = \frac{V_{CN}}{Z_C} = 44 \angle -165^\circ$$

따라서 부하의 불평형에 의해 중성선에 흐르는 전류는 각 상전류의 합으로서 식 (8)과 같다.

$$I_N = -(I_A + I_B + I_C) = 25.943 \angle 102.996^\circ \quad (8)$$

식 (8)과 같은 중성선 전류는 3상 부하가 비대칭일 때 나타나는 것으로서 부하의 임피던스 값의 차이와 위상각 차이에 따라 변동이 심할 수 있다. 특히 비선형부하의 사용시 3고조파 성분으로 중성선에 흐르는 전류값은 더욱 높아질 수 있다.

그림 1과 같은 조건하에서 각 상이 분담하는 피상전력은 식 (9)와 같다.

$$S = V_{AN} \cdot \bar{I} \text{ or } |V_{AM}| \cdot |I| \quad (9)$$

식 (9)로 구한 각상 피상전력의 값을 식 (4)에 대입하여 계산할 경우 부하 불평형율(LUF₁)과 식 (7)에서 구한 전류값을 식 (6)에 대입하여 구한 전류 불평형율(CUF)은 같은 18.8[%]의 결과를 얻을 수 있다. 그러나 부하의 역률이나 임피던스의 변화에 따른 전력이나 전류의 변동시 위와 같은 방법으로는 불평형율의 계산이 불가능하다.

3.2 시스템 구성 및 측정

현재 우리나라 저압설비에 많이 적용되고 있는 배전시스템은 단상 및 3상 부하를 동시에 사용 가능한 3상 4선식 방식이다. 이 시스템은 하나의 변압기로 단상 및 3상 부하에 전원공급이 가능하지만 부하의 불평형 운전으로 인해 전기품질에는 여러 가지 문제점을 안고 있다.

본 연구에서는 간이 실험설비의 구성하여 일정한 부하 패턴으로 운전할 경우와 실제 현장에서 랜덤하게 운전 중인 설비 두 곳에서 측정과 분석을 실시하였다.

그림 2는 본 연구의 실험 장치인 3상 4선식 방식의 배전시스템을 나타낸 것으로서 3상부하는 유도전동기, 단상 부하는 전등 또는 전열기 그리고 단상 유도전동기 등을 사용

하였다. 부하의 불평형에 따른 영향을 최소화하기 위해 전원측은 일정한 전압이 공급되는 설비를 채용하였다.

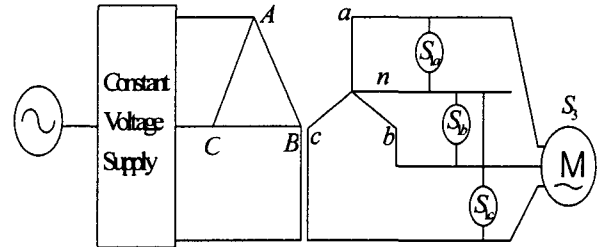


그림 2 설비 구성 및 측정 회로도

Fig. 2 Equipment frame & measurement circuit diagram

3상 4선식 배전공급 시스템에서 단상 부하가 3상 부하보다 많이 공급되는 경우와 3상 부하가 단상 부하보다 많이 공급되는 경우에서 전자의 경우는 부하의 변화가 매우 심하므로 전압 및 전류 불평형율이 매우 큰 변화를 나타내지만, 후자의 경우는 일정한 패턴으로 부하가 지속적으로 변화하기 때문에 전압 및 전류 불평형율이 매우 안정적이다. 따라서 같은 3상 4선식 배전시스템에서 전압 및 전류 불평형을 산출하기 위해서는 전자의 경우에 매우 많은 대책이 요구된다.

3상 4선식 저압설비를 사용하는 일반 수용가의 사용 부하는 항상 일정한 패턴으로 운전하기 보다는 변화가 발생한다. 따라서 부하의 변화에 따른 불평형율의 변화를 고려하기 위한 측정과 분석을 실시하였다.

실험에 사용된 부하는 3종류로서 ① 3상 유도전동기 3마력, ② 단상 유도전동기 1마력, ③ 전열부하를 사용하였다. 부하는 개별 및 혼합운전으로 불평형율의 특성을 측정 분석하였다. 측정에 사용된 전력분석기는 HIOKI사의 3196를 이용하였다.

표 1은 운전 조건에 따른 대상 부하와 역률관계를 나타낸 것이다. 표 1에서 3상 부하만을 사용한 경우에는 역률이 높고, 다섯 번째와 일곱 번째는 유도성 부하가 포함된 경우로서 역률은 낮으며, 여섯 번째는 저항부하만의 사용한 경우로서 역률은 매우 높은 편이다.

표 1 운전조건

Table 1 Operation condition

순서	대상부하	평균 역률[%]	비고
1	①	95.6	역률보상
2	①	86.0	역률 보상전
3	①+②	90.1	역률보상
4	①+②+③	92.3	역률보상
5	②+③	76.1	
6	③	95.9	저항부하만 운전
7	②	42.4	
8	①+③	97.0	역률보상

3.3 결과 분석

그림 3은 그림 2와 같은 측정회로에서 표 1과 같은 부하를 대상으로 순서에 따라 일정한 패턴으로 운전하였을 경우에 대한 부하 불평형율(LUF)과 전류 불평형율(CUF)을 비교한 결과이다. 분석에 이용된 자료는 8개 운전조건에 대해 측정간격을 3초로 24분간 측정한 것이다. 따라서 그림 3에서 x축은 데이터 전체 개수로 480개이기 때문에 하나의 운전조건의 측정 데이터 개수는 60개가 활용되었다.

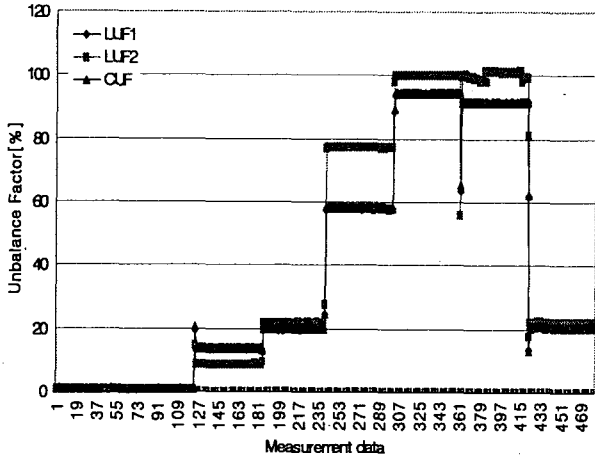


그림 3 간이 실험설비 측정에 의한 불평형율 비교
Fig. 3 Unbalance factor comparison by the measurement of simple lab equipment set

그림 4는 그림 3과 같은 설비의 운전시 각상(PF_a, PF_b, PF_c) 및 평균역률(pf_ave)을 나타낸 것이다. 표 1에서와 같이 첫 번째부터 네 번째 그리고 여덟 번째는 3상 부하의 단독 또는 혼합 사용시 역률은 높은 편이지만, 다섯 번째부터 일곱 번째까지는 단상부하만을 사용하므로 역률이 상별로 많은 차이를 나타낸다. 따라서 역률값의 차이가 존재하는 경우에는 피상전력과 유효전력에 차이가 있으므로 계산결과가 다르게 나타난다.

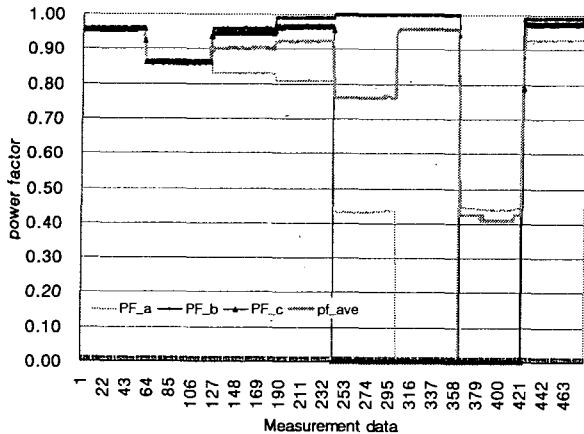


그림 4 간이 실험 설비의 역률
Fig. 4 Power factor of simple lab equipment

그림 3에서 첫 번째와 두 번째 운전조건에서 역률의 보상 전후 3상 3마력 유도전동기의 운전에서 피상전력으로 구한 부하 불평형율(LUF₁)의 식 (4) 및 유효전력만으로 부하의 불평형율(LUF₂)을 구하는 식 (5) 그리고 식 (6)의 전류 불평형율(CUF)의 계산 결과는 제로에 가깝게 거의 일치하는데 이는 그림 4에서와 같이 각상의 역률이 거의 일정한 3상 평형 부하 때문이다.

세 번째 운전에서는 3상 부하에 단상 유도성 부하를 추가 운전한 경우로서 단상 부하 자체는 역률이 낮은 편이지만, 3상 부하에 혼합되었으므로 그림 4에서와 같이 전체적인 역률은 높은 편으로 식 (6)으로 계산한 전류 불평형율(CUF)과 피상전력으로 부하 불평형율을 구하는 식 (4)의 결과(LUF₁)는 유사한 값을 나타내지만 유효전력으로 구하는 부하 불평형율(LUF₂)인 식 (5)의 값은 약간 낮게 나타나는데, 이것은 역률의 변동과 각 상의 임피던스에서 약간의 차이 때문이다.

네 번째 경우는 3상 부하에 2개의 단상 부하를 추가 운전한 경우에 대한 결과로서 피상전력에 의한 부하 불평형(LUF₁)과 전류 불평형 공식(CUF)으로 구한 결과는 같지만 유효전력으로 구한 결과는 앞에서와 같이 약간 높게 나타나는데, 이것은 각 상 전류의 위상각 변화에 따른 결과이다.

다섯 번째는 단상 부하만 3상중에서 두상에만 걸었을 경우에 대한 측정 결과로서 전류 및 피상전력에 대한 불평형율의 계산 결과는 같지만 유효전력에 의한 부하 불평형율의 대한 결과는 역시 역률과 임피던스에 의한 위상차로 높게 나타난다.

여섯 번째와 일곱 번째는 3상 라인에 각각 유도성과 저항성의 단상 부하만을 운전한 경우에 대한 측정결과로서 역률의 변화는 존재하지만 유효전력으로 구한 불평형율은 전류 및 피상전력으로 구한 불평형율의 값보다 높게 나타난다.

여덟 번째는 단상 저항성부하와 3상 부하를 운전한 경우로서 전류 및 피상전력으로 구한 불평형율은 같은 결과를 나타내고 유효전력으로 구한 불평형율도 이와 비슷한 결과를 나타내는 것은 역률에 의한 영향과 각상의 임피던스가 동일한 위상각을 가지므로 불평형율은 서로 유사한 값을 나타낸 것이다.

그림 3에서와 같이 3상 4선식에서 3상 부하의 단독운전과 3상과 단상의 혼합운전시 부하 및 전류 불평형율의 변화는 거의 일정한 패턴을 나타낸다. 그러나 단상 부하만을 각상에 개별 운전할 경우에도 같은 결과를 나타내지만, 다섯 번째와 같이 3상 4선식 시스템에서 임피던스가 다른 단상 부하를 혼합 운전할 경우 각상의 전류벡터 위상각이 변화하여도 전류 및 피상전력에 의한 불평형율의 값이 동일한 값을 나타내고 유효전력에 의한 값은 동일하거나 약간 차이를 나타낸다.

그림 3에서와 같이 3상 4선식에서 3상 부하단독 운전이나 3상 부하에 단상 부하를 혼합 운전한 경우 설비 불평형율은 허용범위를 초과하지 않지만, 단상 부하만을 단독으로 운전할 경우에는 설비 불평형율의 허용범위를 초과하는 경우가 발생함을 확인할 수 있다.

현재 저압 부하를 주로 사용하는 3상 4선식 수용가에서는 그림 3과는 달리 순간마다 부하변동이 심한편이다.

그림 5는 3상 4선식 설비의 현장에서 램덤하게 운전하는 부하의 운전상황에 따른 피상전력, 유효전력 및 전류에 의한

불평형율의 측정결과를 나타낸 것으로서 측정간격은 10분으로 설정하였다.

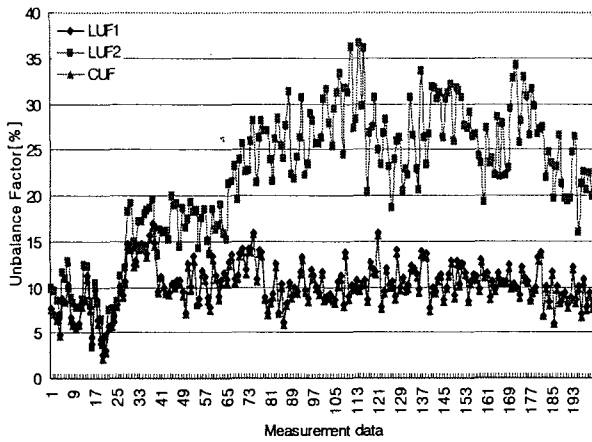


그림 5 현장 설비 측정결과와 불평형율 비교
Fig. 5 Unbalance factor comparison by the field measurement result

그림 6은 그림 5와 같은 3상 4선식 설비의 램덤 운전시 각상(PF_a, PF_b, PF_c)의 역률 및 평균 역률(pf_ave)을 나타낸 것이다. a, b상의 역률은 점차 낮아지는 반면 c상의 역률은 일정하게 유지하고, 평균 역률은 역률보상이 필요한 수치를 나타내고 있다.

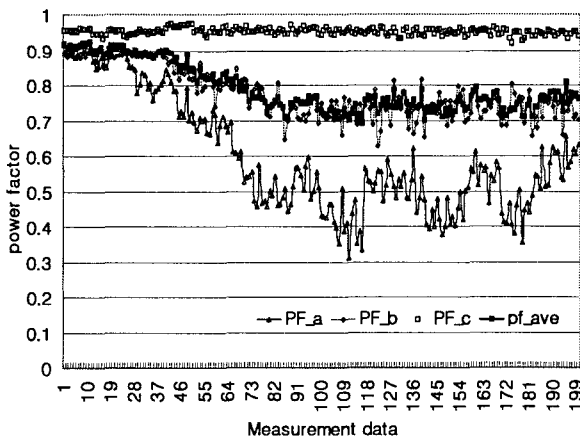


그림 6 현장 운전 설비의 역률
Fig. 6 Power factor of field operation load

그림 5에서와 같이 3상 4선식에서 부하의 운전은 일정한 것이 아니라 변화가 매우 심하다. 부하의 변동이 발생하는 곳에서의 부하 불평형율은 설계시의 정격용량만으로 계산하는 것보다는 부하의 운전상황에 따라 변화하는 값을 고려한 불평형율의 계산이 필요함을 알 수 있다.

그림 5에서와 같이 유효전력, 피상전력 및 부하전류의 변화를 통해 나타낸 각각의 불평형율에 대해서는 식 (4)에서 제시한 피상전력으로 계산하는 결과값(LUF₁)과 부하전류만으로 계산한 식 (6)의 결과값(CUF)은 일치함을 확인할 수

있지만, (5)의 유효전력의 계산한 결과값(LUF₂)은 이 두 가지 계산값 보다는 약간 높게 나타나거나 아주 높은 결과를 나타내고 있다. 이 결과는 그림 6에서와 같이 각상의 임피던스가 다르거나 위상차로 상별 역률의 변동이 존재할 경우 계산결과가 더욱 범위를 넓힐 수 있음을 알 수 있다.

따라서 연속적인 부하의 사용시 발생하는 부하 불평형율 산출시에는 피상전력과 전류 불평형율에 의한 계산결과는 동일하다는 것과 같은 결과에서도 전류값만으로 정확한 불평형율의 산출이 가능함을 알 수 있다. 또한 3상 4선식에서 제한하는 부하의 불평형율은 일부 시간대에서 초과함을 알 수 있었다.

4. 결 론

부하 불평형은 가능한 낮게 설계하고 운전하는 것이 시스템의 안정적인 동작확보나 다른 시스템에 미치는 영향을 최소화시키는데 필수적이다. 그러나 시스템의 설계시와 달리 운전시 부하의 불평형율이 발생하게 된다. 부하 불평형율이 낮은 범위가 되도록 운영하는 것이 매우 어렵기 때문에 설계시에 허용범위를 두어 설비를 운전하도록 권장하고 있다.

설비의 설계에도 부하의 부담이 중요하지만 실제 현장에서 운전시에 각 상에 분담되는 전력은 서로 다르게 운전되는 경우가 많아 설비 불평형율은 현장 운전조건을 정확하게 반영하는데 문제점이 있어 본 연구에서는 설비의 운전에 따른 부하 불평형율은 전류 불평형율로 변경하여 계산하는 공식을 제시하였다.

제한한 전류 불평형율은 각 상에 흐르는 전류값만으로 구할 수 있는 방법으로 전압 및 전류값으로 부하 불평형율을 구하는 기존의 방법에 비해 계산이 간단하고 정확하게 일치하는 결과를 확인할 수 있었다.

본 연구결과는 앞으로 보다 다양한 곳의 부하를 대상으로 측정을 실시하여 전류 불평형과 부하 불평형율이 전압 불평형율에 미치는 영향을 분석 자료로 활용할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 김종겸 외 2인 “전압, 전류 및 부하 불평형율에 대한 비교 연구”, 전기학회 논문지, 제 54P권, 2호, pp.88-93, 2005. 6
- [2] 이은용 외 2인 “부하 변동에 의한 전압 불평형율의 특성 해석”, 전기학회 논문지, 제 54P권, 1호, pp.47-52, 2005. 3
- [3] 임수생 외 2인, “불평형 부하의 평형화를 위한 STATCOM 제어”, 대한전기학회 논문지, 제 49권, 8호, pp.522-528, 2000. 8
- [4] 내선규정 제 115절 1항, “불평형부하의 제한”
- [5] 산업자원부, “3상 4선식 부하설비의 전압 불평형율 허용 기준(안) 제정” 최종보고서, 2005. 9

저 자 소 개



김 종 겸 (金 宗 謙)

1961년 10월 3일생. 1984년 동아대학교 전기공학과 졸업. 1991년 충남대학교 대학원 전기공학과 졸업. 1996년 동대학원 졸업 공학박사. 1987.1~1988.1 한국통신, 1988.

1~1996.2 한국수자원공사. 1996년~현재 국립원주대학 전기과 부교수. 현재 당학회 B부문 편집위원 및 재무이사, 본부 편집위원, P부문 편집위원장

Tel : 033-760-8423

E-mail : jgkim@wonju.ac.kr