

## Comparison of Voltage Unbalance Factor for Line and Phase Voltage

金宗謙<sup>\*</sup> · 朴永鎭<sup>\*</sup> · 李殷雄<sup>\*\*</sup>  
 (Jong-Gyeum Kim · Young-Jeen Park · Eun-Woong Lee)

**Abstract** - Most of the loads in industrial power distribution systems are balanced and connected to three power systems. However, voltage unbalance is generated at the user's 3-phase 4-wire distribution systems with single & three phase. Voltage unbalance is mainly affected by load system rather than power system. Unbalanced voltage will draw a highly unbalanced current and results in the temperature rise and the low output characteristics at the machine. It is necessary to analyse correct voltage unbalance factor for reduction of side effects in the industrial sites. Voltage unbalance is usually defined by the maximum percent deviation of voltages from their average value, by the method of symmetrical components or by the expression in a more user-friendly form which requires only the three line voltage readings. If the neutral point is moved by the unbalanced load at the 3-phase 4-wire system. Line and phase voltage unbalance leads to different results due to zero-sequence component. So that it is difficult to analyse voltage unbalance factor by the conventional analytical method, This paper presents a new analytical method for phase and line voltage unbalance factor in 4-wire systems. Two methods indicate exact results.

**Key Words** : Unbalance Voltage, Line-to-Line and Phase-to-Phase Voltage, Voltage Unbalance Factor(VUF)

### 1. 서 론

전기품질은 주로 전압에 관련된 것으로 시스템에 일시적인 영향을 주는 세그나 스웰, 서지와 장기적으로 영향을 주는 정전현상과 그리고 시스템을 운전하는 동안 부하에 지속적으로 영향을 미치는 전압 불평형과 고조파 등이 있다 [1-4].

전압 불평형은 시스템의 동작시 전원과 부하측의 운전특성에 의해 발생하지만 주로 부하의 운전패턴의 영향을 더 많이 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 설비 증설 또는 각 상의 부하분담이 다르거나 운전상황에 따라 부하 임피던스 값의 변화로 각 상전압의 크기가 달라진다. 그리고 약간의 전압 불평형은 큰 전류 불평형을 일으키고 이로 인해 손실이 증가하여 기기의 출력을 감소시킨다 [2-4]. 부하기기의 정상적인 출력보장과 안정적인 운전 그리고 시스템의 불안정을 줄이기 위해 전압 불평형율을 낮추는 연구가 활발하고 허용범위에 대한 다양한 기준이 제시되고 있다 [4-6].

전압 불평형율은 상전압과 선간전압으로 산출할 수 있지만 부하의 불평형에 의해 위상차가 달라지거나 중성점이 이동할 경우 또는 전압성분에 고조파가 포함될 경우 두 가지 계산결과는 서로 달라지므로 정확한 특성해석을 위해서는 별도의 방법이 필요하다.

본 논문에서는 3상 4선식 시스템에서 부하불평형으로 인한 중성점 전압의 존재로 발생한 전압불평형을 3상 선간전압의 크기만으로 각 상전압의 크기와 위상각 그리고 영상분 전압의 크기를 계산하여 상전압과 선간전압에 의한 전압 불평형을 계산에 차이가 없음을 입증하고자 한다.

### 2. 전압 불평형율

#### 2.1 전압 불평형의 발생 원인과 불평형율

전압불평형의 원인은 3상 전원에서 단상부하의 불평형 배분과 운전 및 불평형 3상 부하 임피던스 연결 때문이다. 또한 평형된 3상 부하라도 불평형 전원에 연결되면 유입 전류는 불평형이 된다. 따라서 3상의 각상에 서로 다른 전압 편차로 전압 불평형이 발생한다.

전압 불평형은 수식 또는 도식적인 방법으로 구할 수 있는데 수식적으로는 대칭좌표법과 간략화된 계산으로 산출하는 방법이 있고, 도식적으로는 각 상 전압의 크기를 작도법으로 그려 구하는 방법이 있다 [4].

전압 불평형율(VUF: Voltage Unbalance Factor)은 식 (1)과 같이 정상분( $V_1$ )에 대해 역상분( $V_2$ )의 비율로서 정의

<sup>\*</sup> 교신저자, 正會員 : 國立 原州大 電氣科 副教授 · 工博  
 E-mail : jgkim@wonju.ac.kr

<sup>\*</sup> 正會員 : 國立 原州大 電氣科 副教授 · 工博

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 忠南大 工大 教授 · 工博

接受日字 : 2005年 5月 26日

最終完了 : 2005年 7月 19日

한다[1-5].

$$VUF_1 = \frac{V_2}{V_1} \tag{1}$$

영상분  $V_o$ , 정상분  $V_1$  과 역상분  $V_2$  는 식 (2)로 계산되고, 각 상 또는 선간전압은 벡터값이다. 일반 계측기로서는 상전압의 크기만 알 수 있으므로 위상각을 모르면 정확한 전압 불평형율을 알 수 없다. 특히 부하의 불평형에 의해 중성점이 이동할 경우 전압의 위상각이  $120^\circ$  대칭이 되지 않기 때문에 상전압  $V_A, V_B, V_C$  에 대한 불평형율의 산출은 매우 어렵다. 또한 부하가 비선형일 경우 고조파성분이 포함되므로 필터링을 사용하지 않을 경우 상전압에 대한 불평형율을 계산에는 오차를 발생할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_o \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{pmatrix} \tag{2}$$

식 (2)에서  $a = e^{j\frac{2}{3}\pi}$ ,  $a^2 = e^{j\frac{4}{3}\pi}$ 이다.

현장에서 측정한 3상 선간전압의 실효값으로 불평형율 산출할 경우 식 (3)을 이용하면[3,4] 각 상에 대한 위상각을 고려하지 않고 전압의 크기만으로도 식 (1)과 같이 정확하게 전압불평형율을 구할 수 있다.

$$VUF_2 = \sqrt{\frac{1-\sqrt{3-6\beta}}{1+\sqrt{3-6\beta}}} \tag{3}$$

식 (3)에서  $\beta$ 는

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

으로 선간전압  $V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$ 로 나타내진다.

상전압에 의한 대표적인 전압불평형율은 식 (4)와 같이 각 상전압과 평균전압  $V_{avg}$  의 최대차를 평균전압으로 나누어 나타낸다.

$$VUF_3 = \frac{\max(|V_A - V_{avg}|, |V_B - V_{avg}|, |V_C - V_{avg}|)}{V_{avg}} \tag{4}$$

식 (4)에서  $V_{avg} = \frac{1}{3} (V_A + V_B + V_C)$ 이다.

상전압에 의한 불평형율의 간이 계산 방법으로서 식 (5)와 같이 3상 전압의 최대값과 평균값의 차로써 구하기도 한다.

$$VUF_4 = \frac{V_{avg} - \max(V_A, V_B, V_C)}{V_{avg}} \tag{5}$$

전압불평형율 식 (1), (3), (4) 및 (5)로 계산할 수 있지만,

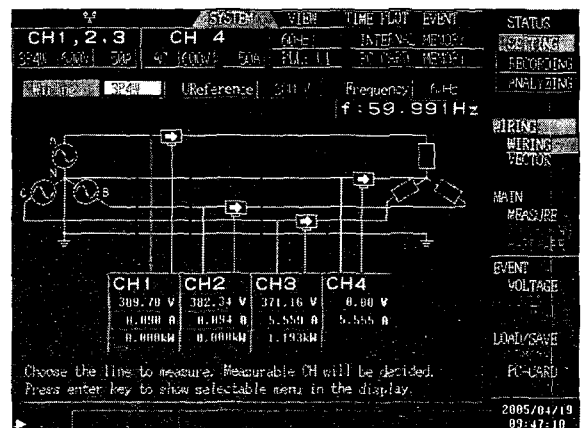
식 (4) 및 (5)의 경우는 위상차를 고려할 수 없고 오차가 발생하여 현장적용이 부적합하다. 식 (1)의 경우 상전압 및 선간전압에 모두 적용이 가능하지만, 상전압 파형에 고조파 성분이 포함될 경우 정확한 불평형율의 도출이 매우 어렵다. 식 (3)의 경우 실제 전압 크기만으로 정확한 전압불평형율을 산출할 수 있어 가장 널리 사용되고 있지만, Y결선과 같은 방식에서 상전압에 대한 전압불평형율과 정상분, 역상분 및 영상분의 크기와 위상각에 대한 산출이 어려워 기기의 정확한 특성해석이 어렵다[3]. 따라서 Y결선방식에서 선간전압의 크기만으로 각 상전압의 크기는 물론 불평형율과 위상각 산출이 가능한 방식이 필요하다.

### 2.2 전압불평형율 벡터도

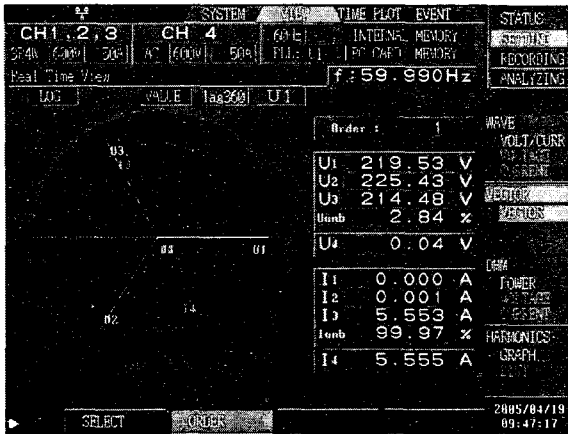
3상 평형인 부하의 정상적 운전시 각 상전압과 선간전압의 크기는 같고, 각 상은  $120^\circ$  위상차를 이룬다. 그러나 전압변동시 위상변이(phase shift)는 배전시스템의 임피던스와 부하 또는 고장 전류사이에서의 매우 복잡한 상호관계로 발생한다.

3상 4선식의 경우 공급되는 전압이 평형이라도 부하의 불평형으로 각 상의 전류분담이 달라지거나 부하의 종류에 따라 위상변이는 존재한다. 그래서 3상 4선식에서 부하의 불평형으로 중성선에는 각상전류의 합이 되는 전류가 흐르게 된다. 이는 평형시와 달리 중성점이 이동하여 각 상전압의 크기와 위상각의 변화가 발생하므로 선간전압의 크기만으로 불평형율을 계산하는 것은 가능하더라도 상전압의 불평형율을 정확하게 구할 수 없다. 특히 단상 변압기 3대로 Y결선하여 운전할 때 각 변압기의 여자 특성이 같지 않으면 3상 중성점이 이동하게 되므로 상전압 불평형율을 정확하게 계산할 수 없다.

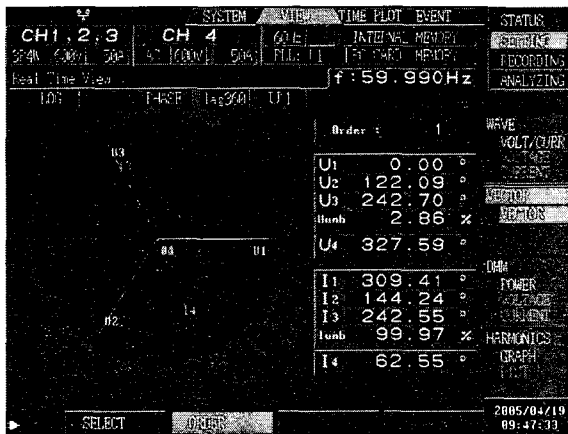
그림 1은 단상 변압기 3대를 1차  $\Delta$ , 2차 Y결선하여 3상 4선식 선로에 c상에만 저항부하를 걸고  $I_3$ 로 운전할 때의 결선도와 전압 및 위상 벡터도를 나타낸 것이다. 그림 1(a)는 선간전압에 대한 크기를 나타낸 것이고, 그림 1(b)는 상전압에 대한 기본파 전압의 크기를 나타낸 것이며, 그림 1(c)는 상전압에 대한 기본파 성분의 위상각 벡터도이다.



(a) 결선도



(b) 전압 벡터도



(c) 위상 벡터도

그림 1 결선도 및 벡터도

Fig 1. Connection and vector diagram

그림 1(a)에서와 같이 선간에 나타나는 전압의 크기로 식 (3)과 같이 간단하게 전압불평형율에 대한 계산이 가능하지만, 그림 1(b), (c)와 같이 상전압에 대해서는 고조파 성분을 제외한 기본파 성분만으로는 정확한 불평형율 계산이 어렵다.

또한 그림 1 (a), (b)에서와 같이 c상에 전류  $I_3$ 가 흐를 경우 다른 상에 비해 낮은 전압의 크기를 나타내고 있으며 이때 전압의 위상각은 중성점의 이동으로 인해 그림 1(c)에서와 같이 a상( $U_1$ )을 기준으로 위상각이 약간 비대칭임을 알 수 있다. 이럴 경우 선간전압의 크기에 의한 불평형율은 계산이 가능하지만, 중성점 변동에 따른 위상각 변화를 고려한 상전압에 대한 전압불평형율의 계산이 어렵다. 따라서 중성점의 이동에 의한 영향을 고려한 선간전압 및 상전압의 불평형율 계산이 필요하다.

### 3. 전압불평형율의 비교 분석

전압불평형율을 구하기 위해서는 상전압은 크기와 위상각

이 필요하지만, 선간전압은 크기만 알면 된다. 그런데 엔지니어가 현장측정에서 구할 수 있는 것은 상전압 및 선간전압에 대한 크기뿐이다. 따라서 상전압에 대한 전압불평형율은 위상각을 알 수 없기 때문에 산출이 어렵다. 또한 전압에 고조파 성분이 포함될 경우 상전압에 대한 크기는 기본파의 고조파성분에 대한 크기와 위상각을 포함시켜야 정확한 전압불평형율을 구할 수 있다.

그림 2는 전압벡터 삼각형으로 부하 평형시는 점선으로, 부하의 불평형이나 전압의 변화로 인한 불평형시는 실선으로 나타냈다. 그림 2에서와 같이 각 상전압의 크기와 위상각이  $120^\circ$  대칭일 경우와 각 선간전압의 크기가 일정할 경우에는 3상 평형으로 정삼각형이 되지만, 정상분에 영상분이 추가되면 삼각형은 유지되지 위상만 이동하며, 역상분이 추가되면 세변의 길이가 다른 삼각형을 이루게 된다.

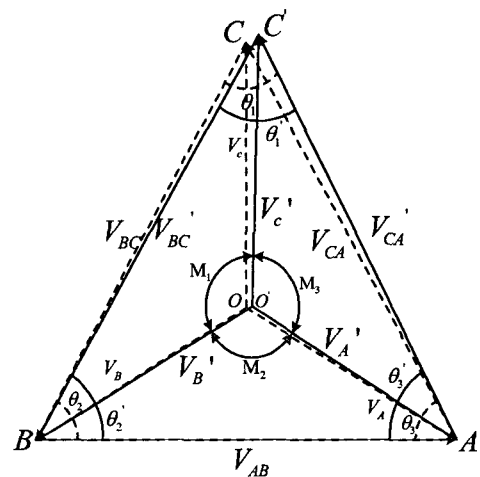


그림 2 전압 페이서도

Fig 2. Voltage phasor diagram

그림 2에서 평형시 3상 선간전압  $V_{AB}, V_{BC}, V_{CA}$ 의 크기가 같고 꼭지점 A, B, C로 구성되는 점선으로 된 정삼각형이 이루어진다. 그러나 부하의 불평형으로 인해 선간전압의 크기가 각각  $V_{AB}, V'_{BC}, V'_{CA}$ 로 다를 경우 부하의 중성점 O는  $O'$ 로 이동하여 정삼각형이 아닌 실선으로 된 삼각형을 형성하게 된다. 따라서 정삼각형의 중심점과 이루는 세 개의 동일한 삼각형 면적이 전압불평형이 되면 면적이 다른 세 개의 삼각형으로 변형되므로 상전압 및 선간전압의 크기와 삼각형을 구성하는 각의 변화가 생긴다. 중성점이 이동함에 따라 변화된 전압의 크기와 위상각을 고려해야 정확한 상전압 및 선간전압의 불평형율의 비교 산출이 가능하다.

그림 2와 같은 조건의 평형 및 불평형시의 상전압 및 선간전압의 크기를 표 1에 나타내었다. 표 1에서의 상전압은 측정을 통해 구할 수 있는 전압의 크기만을 나타낸 것으로서 불평형시의 상전압 및 선간전압에 대한 불평형율은 0.7646%이다.

표 1 상 및 선간전압의 크기

Table.1 Amplitude of phase & line voltage

평형시 전압[V]		불평형시 전압[V]	
상전압	선간전압	상전압	선간전압
$V_A=220$	$V_{AB}=380$	$V_{A'}=217.27$	$V_{AB}=380$
$V_B=220$	$V_{BC}=380$	$V_{B'}=221.60$	$V_{BC'}=378$
$V_C=220$	$V_{CA}=380$	$V_{C'}=219.87$	$V_{CA'}=383$

그림 2에서와 같이 당초 동일한 크기의 선간전압이 변형됨에 따라 기존의 동일한 삼각형 내각  $\theta_1, \theta_2$  및  $\theta_3$ 의 크기가 선간전압의 변화로 각  $\theta_1', \theta_2'$  및  $\theta_3'$ 로 바뀌에 따라 삼각형정리에 의하면 식 (6)과 같이 변화된 삼각형의 내각을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \theta_1' &= \cos^{-1} \left( \frac{V_{CA'}^2 + V_{BC'}^2 - V_{AB}^2}{2V_{CA'}V_{BC'}} \right) \\ \theta_2' &= \cos^{-1} \left( \frac{V_{BC'}^2 + V_{AB}^2 - V_{CA'}^2}{2V_{BC'}V_{AB}} \right) \\ \theta_3' &= \cos^{-1} \left( \frac{V_{AB}^2 + V_{CA'}^2 - V_{BC'}^2}{2V_{AB}V_{CA'}} \right) \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)에서 구한  $\theta_1', \theta_2'$  및  $\theta_3'$ 의 값은 각각 59.9088°, 59.3924°와 60.6988°로서 평형시  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 가 모두 60.0° 과 약간의 위상차를 가지므로 전압불평형을 계산에 전압의 크기뿐만 아니라 위상각도 포함시켜야 한다.

불평형시 실선 삼각형의 중심점  $O'$ 는 변형된 삼각형의 꼭지점  $A, B, C'$ 의 각을 이등분한 선이 만나는 점이다. 이  $O'$ 과 각 꼭지점  $A, B, C'$ 을 연결하는 길이가 상전압의 크기가 된다. 식 (6)에 의하여 구한 꼭지점의 각  $\theta_1', \theta_2', \theta_3'$ 은 변형된 내부 세 개의 삼각형  $\triangle A'O'B, \triangle A'O'C', \triangle B'O'C'$ 가 생겨나고 이 각 삼각형에서 두 각과 한변의 길이를 알면 삼각형의 정리에 의해 나머지 각도 구할 수 있다. 여기서는 삼각형의 내각 합에서 식 (6)에서 구한 각 꼭지각의  $\frac{1}{2}$ 을 제외하면 새로 구성된 삼각형의 내각  $M_1, M_2$  및  $M_3$ 는 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} M_1 &= \left( 180^\circ - \frac{\theta_1' + \theta_2'}{2} \right) \\ M_2 &= \left( 180^\circ - \frac{\theta_2' + \theta_3'}{2} \right) \\ M_3 &= \left( 180^\circ - \frac{\theta_3' + \theta_1'}{2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 구한 내각  $M_1, M_2$  및  $M_3$ 은 각각 120.349°, 119.954° 및 119.696°로 평형시의 120.0°에 대해 약간 다르게 나타내고 있다.

따라서 불평형된 상전압의 크기는 선간전압의 크기와 식 (6) 및 (7)을 이용하면 식 (8)과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} V_{A'} &= V_{AB} \frac{\sin\left(\frac{\theta_2'}{2}\right)}{\sin(M_2)} \\ V_{B'} &= V_{BC'} \frac{\sin\left(\frac{\theta_1'}{2}\right)}{\sin(M_1)} \\ V_{C'} &= V_{CA'} \frac{\sin\left(\frac{\theta_3'}{2}\right)}{\sin(M_3)} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서의 상전압의 크기는 각각  $V_{A'}=217.27[V]$ ,  $V_{B'}=221.60[V]$ ,  $V_{C'}=219.87[V]$ 이다. 식 (8)의 경우는 불평형된 전압의 크기만을 나타낼 뿐 위상각을 포함하지 않는다. 그러나 상전압의 정확한 불평형을 계산할 위해서는 전압의 크기 외에 위상각도 포함시켜야 한다.

식 (8)에서 구한 전압의 크기로 중성점 이동을 고려하지 않은 상태로 식 (2)와 같이 불평형을 계산할 경우 정상분에 대한 역상분 또는 정상분에 대한 영상분 모두 0.5731로 같은 값을 가지지만 식 (1)과 (3)로 구한 값에 비해 약간 낮은 값으로서 오차를 발생한다.

불평형된 상전압의 정상분, 역상분 및 영상분의 크기는  $V_{A'}$ 를 기준으로 할 경우 전압의 크기와 위상각에 대해서는 식 (7)과 식 (8)로부터 구할 수 있지만, 중성점이 이동한 부분에 대해서는 식 (2)와 같은 형태로 위상각  $M$ 을 추가시킬 경우 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_1 &= \frac{1}{3} (V_{A'} + aV_{B'}e^{-jm_2} + a^2V_{C'}e^{jm_3}) \\ V_2 &= \frac{1}{3} (V_{A'} + a^2V_{B'}e^{-jm_2} + aV_{C'}e^{jm_3}) \\ V_o &= \frac{1}{3} (V_{A'} + V_{B'}e^{jm_2} + V_{C'}e^{jm_3}) \end{aligned} \quad (9)$$

표 2는 기존의 전압불평형율과 본 연구에서 제시한 전압 불평형율의 결과를 비교한 결과이다.

표 2 전압불평형율의 비교

Table 2 Comparison of VUF

구분	$V_{A'}, V_{B'}, V_{C'}$ (상전압 불평형율)	$V_{AB}, V_{BC'}, V_{CA'}$ (선간전압 불평형율)	비교
식(1)	$V_1=219.79$ $V_2=1.6786$	$V_1=380.3223$ $V_2=2.9074$	
식(3)	-	0.7646	
식(4)	1.051	-	
식(5)	0.9206	-	
식(9)	0.7646	-	$V_1=219.58 \angle -0.0$ $V_2=1.6789 \angle 156.6$ $V_o=0.8367 \angle -156$

표 2는 표 1과 같은 조건에서 식 (1)로 대칭좌표법에 의

해의 불평형율을 계산한 것으로 상전압 불평형율은 각 상의 전압크기와 삼각형의 내각을 이용한 것이고, 선간전압 불평형율은 두 상전압을 벡터 크기를 고려하여 구한 것이다. 이 결과는 중성점의 이동으로 전압의 크기와 위상각을 고려할 경우와 동일하다.

식 (3)은 선간전압의 크기만으로 전압불평형율을 계산한 것으로서 식 (1)과 같은 결과를 제시할 수 있지만 상전압의 불평형율은 계산할 수 없고, 식 (4)는 상전압의 크기만으로 불평형율을 계산할 수 있지만 오차가 많이 발생할 수 있으며, 식 (5)는 계산의 편리성을 추구할 수 있지만 기기의 특성해석을 위한 정확한 결과도출은 어렵다. 그러나 그림 1과 같이 선간전압의 크기만 주어질 경우 전압불평형율은 식 (3)으로 불평형율을 구할 수 있지만, 부하의 불평형으로 중성점이 이동할 경우 중성점을 가지는 Y결선방식의 상전압에 대한 불평형율은 식 (4), (5)와 같은 방식으로는 정확한 결과를 구할 수 없다.

중성점의 변화에 따른 상전압 벡터에서 정상분, 역상분 및 영상분 발생으로 인한 불평형과 선간전압에서의 불평형과 같아야 한다. 식 (8)의 경우 선간전압의 크기로도 각 상전압에 대한 크기를 구할 수 있으며, 이 결과를 식 (9)에 의할 경우 정상분에 대한 역상분의 비율로 선간전압에 대한 계산결과와 동일한 불평형율을 산출할 수 있고, 영상분에 대한 크기는 물론 정상분, 역상분 및 영상분에 대한 위상각을 정확하게 산출할 수 있어 기기 및 계전기의 동작 특성해석이 도움이 될 수 있다.

#### 4. 결 론

선간전압은 크기만으로 불평형율 계산이 가능하지만, 상전압은 크기와 위상각을 고려해야 한다. 그러나 전압에 고조파성분이 포함될 경우 상전압은 각 차수를 모두 포함해야 하므로 불평형율 계산이 매우 어렵다.

3상 4선식 부하공급시스템에서 부하의 불평형 운전 또는 각 상의 임피던스가 다를 경우 선간전압의 크기와 상전압의 위상변화가 발생한다. 이와 같은 시스템에서 위상변위를 고려하지 않고 상전압과 선간전압의 크기만으로 계산한 기존의 불평형율 계산은 약간의 오차를 발생한다. 따라서 선간전압의 크기만으로 구하는 상전압 불평형율은 중성점변화에 따른 영상분의 크기와 각 전압의 변화에 대한 위상변위를 고려할 수 없다.

본 논문에서는 부하의 불평형으로 발생하는 전압불평형율의 기존 산출법을 상전압과 선간전압에 대해 비교 분석하였다. 3상 4선식 시스템에서 부하의 불평형으로 중성점이 이동하더라도 각 선간전압의 크기를 수학적 유도를 거쳐 상전압의 크기와 위상각을 구하여 전압불평형율을 구하므로써 선간전압에 의한 결과와 동일한 결과를 제시하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 김종겸, 박영진, 정종호, 이은웅, "불평형 전압 운전시 유도전동기의 동작 특성 해석" 대한전기학회 논문지(B), 제 53권, 6호, pp.372-379, 2004.6
- [2] 김종겸, 손홍관, 이은웅, "선형 및 비선형 부하량에 따른 고조파 성분의 변화", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 8호, pp.441-448, 2002.8
- [3] 김종겸, 박영진, 이은웅, "부하변동에 의한 전압불평형율의 특성 해석", 대한전기학회 논문지(P), 제 54권, 1호, pp.47-52, 2005.3
- [4] 김종겸, 박영진, "3상 4선식 저압 수용가의 전압불평형율 측정 분석", 한국조명전기설비학회 논문지, 제 18권, 6호, pp.91-99, 2004. 11
- [5] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng, Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001.
- [6] NEMA MG-1-2003, "Motor and Generators"

#### 저 자 소 개

김종겸(金宗謙) : 전기학회 논문지 54(P)권 제 2호 참조

박영진(朴永鎭) : 전기학회 논문지 54(P)권 제 2호 참조

이은웅(李殷雄) : 전기학회 논문지 54(P)권 제 2호 참조

#### 감사의 글

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