

### 3상 4선식 부하설비의 전압 불평형을 허용 기준

김 종 검, 박 영 진, 정 종 호, 이 은 웅  
원주대학, 원주대학, 충남대학, 충남대학

#### Allowable Limits for Voltage Unbalance Factor of Three Phase Four Wire Load System

Kim Jong-Gyeum, Park Young-Jin, Jeong Jong-Ho, Lee Eun-Woong  
Won Ju College, Won Ju College, Chung Nam Univ, Chung Nam Univ

**Abstract** - 저압 수용가에 적용되고 있는 3상 4선식 배전방식은 단상 및 3상 부하를 동시에 이용할 수 있는 장점이 있는 반면 부하의 불평형 운전에 의한 임피던스의 변화로 전압 불평형이 발생하게 된다. 이들 부하 중에서는 선형 및 비선형 부하가 사용될 경우 고조파의 발생으로 부하에 나쁜 영향을 미칠 수 있다. 그래서 본 논문에서는 전압 불평형율의 허용범위를 제한하기 위해 전압 불평형율에 대한 측정방법, 불평형율의 계산방법 그리고 현장 측정 등을 통해 도출된 결과들을 분석하여 가장 효과적인 허용범위를 제안하였다.

#### 1. 서 론

부하를 안정적으로 운전하기 위해서 언급되는 용어로서 전기품질(power quality)이란 말이 널리 사용되고 있다. 전기품질은 실제로 전압품질(voltage quality)이라고 할 만큼 전압이 대부분의 역할을 담당하고 있다[1-6].

전압품질에는 일시적인 영향을 나타내는 과도현상과 부하의 운전동안 지속적으로 영향을 나타내는 고조파나 전압 불평형 등이 있다. 과도현상은 주로 전압에 관련된 것으로서 순간적으로 시스템에 큰 영향을 미치지만, 고조파나 전압 불평형은 그 크기는 낮지만 부하의 운전동안 지속적으로 연결된 시스템에 나쁜 영향을 축적시킨다.

우리나라 수용가의 저압 간선시스템은 단상 및 3상 부하를 하나의 변압기로 공급 가능한 3상 4선식 시스템을 주로 적용하고 있다. 이 배전방식은 1배크 변압기의 구성으로 단상 및 3상 부하에 전원을 공급할 수 있는 장점도 있지만, 부하의 불평형 운전과 연결된 부하에서 비선형 부하의 사용시 고조파가 발생하여 연결된 시스템에 손실증가와 부하의 불안정적 동작으로 전압 불평형을 발생시키고 있다.

부하가 안정적인 동작을 확보하도록 하기 위해서는 전압불평형이 거의 없는 것이 이상적이지만, 부하의 운전 패턴 변화와 각 상 부하의 임피던스의 변화 그리고 전로에서의 임피던스 변동 등 여러 가지 요인으로 부하단에서 필연적으로 전압 불평형이 발생한다.

본 논문에서는 3상 4선식 저압 수용가에서 불평형 부하의 운전에 따른 영향을 최소화하기 위해 우선 전압불평형의 발생원인과 그 영향, 개선방법, 측정법 그리고 허용범위에 대한 기준을 제시하고자 한다.

#### 2. 전압 불평형

##### 2.1 전압불평형의 발생원인 및 영향

전압불평형을 발생하는 주요 부하로서는 가정용기기,

저주파 유도도, 단상 교류 철도, 아크로 등의 단상부하가 있고, 3상 부하에서도 각상에 흐르는 전류값에 약간의 차이가 발생하거나, 단상 비선형부하의 사용시 전압 불평형이 발생한다[3-8]

전압불평형의 원인으로 위의 것 이외에도 지락, 단락등의 계통사고나 전원개폐기의 접촉 불량, 퓨즈의 1선 용단 등의 고장 등에 의해서도 발생할 수 있다. 이와 같은 상황에서의 전압 불평형율은 다른 조건에 비해 매우 높은 편이다.

전압 불평형이 발생할 경우 전동기의 손실증가에 따른 출력저하, 온도상승, 절연열화, 수명감소, 역상분 토크의 증가에 의한 토크감소 등이 있다. 특히 전력변환장치인 비선형 부하의 경우 특정 고조파의 존재로 인해 수동 필터의 설계를 어렵게 할 수 있다. 또한 3상 4선식에서 전압 불평형으로 인해 각상의 전류값이 달라질 경우 중성선에 흐르는 전류값은 더욱 증가하게 된다.

유도전동기와 같은 부하에 불평형된 전압이 인가될 경우 반대되는 상 시퀀스 즉, 각각 "abc" 및 "acb",를 가지는 정상분 및 역상분을 포함하게 된다. 정상분 전압은 원하는 정 토크를 발생하지만, 역상분 전압은 회전자의 회전방향과 반대로 회전하는 공극자속을 발생하여 원하는 부 토크를 발생한다. 그 결과는 순 토크와 속도의 감소이고, 속도 및 토크 맥동, 증가된 전동기 노이즈의 가능성도 있고, 불평형된 전압에서 역상분은 낮은 역상분 임피던스 때문에 큰 역상분 전류를 발생하여 기기 손실과 온도를 상승시킨다. 정상적인 동작속도에서 불평형된 전압은 라인 전류를 전압불평형의 6~10배 정도로 불평형이 되게 한다. 총괄적으로 전압불평형의 실제 결과는 효율감소와 전동기 수명감소이다.

불평형된 전압이 전동기 권선에 인가될 경우 지나친 열 때문에 NEMA는 전동기의 정격출력은 그림 1에 나타낸바와 같이 전압불평형의 정도에 따라 감소율을 곱하고 있다. 이 곡선에서 유도전동기는 이미 정격부하에서 동작하는 것을 나타내고 있다. 하지만 많은 유도전동기는 정격부하에서 동작하지 않으며, 퍼센트 부하가 상당히 불평형의 결과에 영향을 주기 때문에 많은 전압 불평형을 다룰 수 있다. 그림 1에서 2% 전압 불평형은 5%의 출력 감소가 예상되므로 실제 요구하는 출력을 발생하기 위해서는 5% 더 큰 전동기를 필요로 한다. 3% 전압 불평형은 약 12% 보다 큰 전동기 또는 서비스 팩터 1.15를 지닌 전동기의 설계를 요구한다.

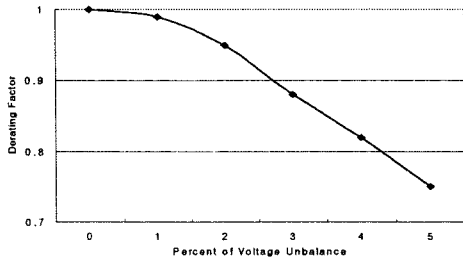


그림 1 전압 불평형율에 따른 출력감소 곡선

전압 불평형에 따른 온도상승 및 절연수명과 관계는 그림 2와 같다. 온도상승은 전압 불평형율의 제곱에 2배에 비례하는 정도가 되므로 절연수명은 그림 2에서와 같이 불평형율이 증가할수록 감소하게 된다.

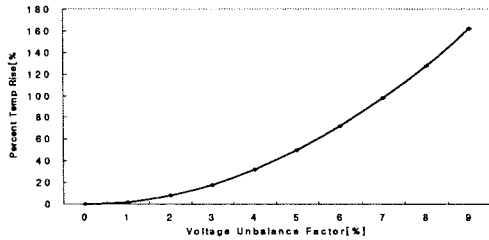


그림 2 전압불평형에 따른 온도상승

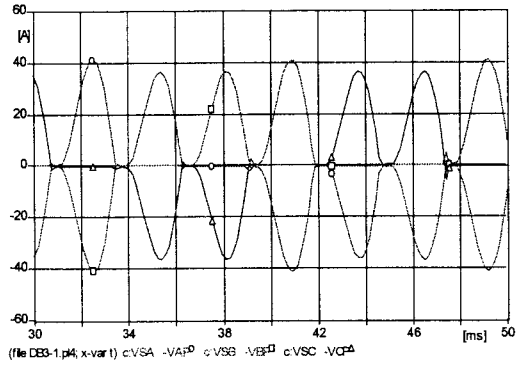
B중 절연 전동기 권선에 100% 부하를 운전하는 경우에서 전압 불평형에 의해 발생하는 절연수명 감소의 결과는 표 1과 같다. service factor 1.0을 기준으로 한 경우 전압 불평형율이 제로인 경우에는 설계에서 보증하는 절연수명이 보장되지만, 2%의 전압 불평형시 절연수명은 64%로 줄어들게 된다. 1.0 서비스 팩터를 가진 전동기의 경우는 1.15의 서비스팩터를 가진 전동기와 같이 많은 열을 견딜 수 있는 능력을 가지지 못한다.

표 1 전압 불평형율에 따른 절연수명

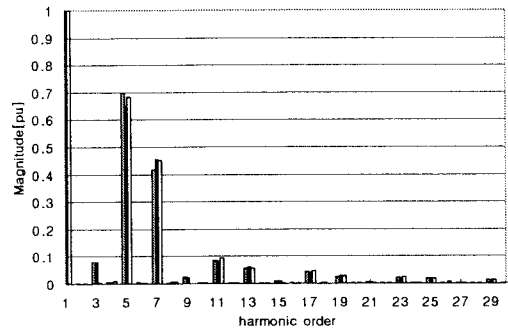
전압 불평형율	절연수명	
	service factor 1.0	service factor 1.15
0	1.0	2.27
1	0.9	2.10
2	0.64	1.58
3	-	0.98
4	-	0.51

수용가에 사용하는 부하 중에는 선형부하(linear load)와 비선형부하(non-linear load)가 있다. 선형부하는 전압파형과 전류파형이 같은 형태의 변화를 나타내는 반면, 비선형부하는 고조파 성분이 포함되어 정현파와는 다른 형태를 나타내는 부하로서 전력변환장치를 사용하는 부하가 해당된다.

그림 3은 1% 불평형 전압이 컨버터에 공급될 경우 입력단 전류파형과 고조파성분을 분석한 결과이다. 그림 3에서 알 수 있듯이 약간의 불평형된 전압이 인가될 경우 피크는 더 이상 같은 높이가 아니고, 전도기간도 이 시간동안에 약간 변화가 있다.



(a) 1% 불평형시 전류파형



(b) 1% 불평형시 전류고조파 스펙트럼

그림 3 1% 불평형시 전류 파형 및 고조파 스펙트럼

그림 3에서의 전류파형은 평형시과는 달리 반주기 동안 두 개의 전류파형 형태가 약간의 차이만 나타내고 있다. 이와 같이 1% 불평형 전압 인가시 전류고조파 왜형율에는 약간의 차이만 존재할 뿐이다. THD는 각각 82.835(A), 80.659(B), 83.073(C)%이고, 그러나 평형시에 존재하지 않는 3고조파 성분이 존재한다. 이 3고조파 성분은 부하의 불평형시 중성선에 흘러 임피던스가 낮은 쪽으로 흘러 시스템에 부작용을 발생하게 된다. 또한 5, 7 등의 기수차 고조파의 크기에 차이를 보이므로 고조파 저감을 위한 필터의 설계시 신중을 기해야 한다.

## 2.2 전압불평형을 계산방법

전압불평형을 계산하는 방법에는 전압의 크기와 위상각을 사용하여 그림으로 나타낸 경우와 수식적인 정리를 이용하여 구하는 방법이 있다. 그리고 전압의 크기를 상전압과 선간전압에 대하여 구하는 경우가 각각 다른 수식으로 전개가 가능하다.

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.

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

3상 불평형 선간전압  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$ ,  $V_{ca}$ 를 식 (1)과 같이 정상분  $V_1$ 과 역상분  $V_2$ 의 대칭성분으로 변환하면 불평형 조건하에서 유도전동기의 동작을 해석할 때 편리하지만, 3상 4선식 선간에서 중성점과 접지선을 공통으로 사용하지 않을 경우 영상분이 존재하므로 식 (1)은 3상 전압이 정확히 비대칭일 경우에는 적용이 어렵다.

수식적인 방법에 의한 전압 불평형을 계산에는 상전압과 선간전압에 따라 계산방법에 약간의 차이를 가지고 있다. 식 (2)는 상전압에 의한 전압 불평형을 계산하는 것으로서 각 상전압을 샘플링 한 다음 고조파 성분을 필터링하여 기본적인 크기와 위상각을 이용하고 있다.

$$VUF_2 = \frac{|V_{an} + a^2 V_{bn} + a V_{cn}|}{|V_{an} + a V_{bn} + a^2 V_{cn}|} \quad (2)$$

IEEE와 NEMA는 전압 불평형을 정의하고 있지만, 상전압을 사용하는 IEEE에 비해 NEMA는 선간전압을 사용하고 있다. 전압 불평형을 표현하는데 단지 크기만을 사용하기 때문에 각상의 위상차를 고려하지 않아 약간의 오차를 발생할 수 있다.

식 (3)은 각 상전압을 평균 전압차에서 최대값을 찾은 다음 평균값으로 나누어 전압 불평형을 구하는 방법이다.

$$VUF_3 = \frac{\max[|V_a - V_{avg_p}|, |V_b - V_{avg_p}|, |V_c - V_{avg_p}|]}{V_{avg_p}} \quad (3)$$

여기서  $V_{avg_p} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$  이다.

식 (3)과 같은 방법에 의한 산출은 평가된 전압불평형을 예 최대 13% 정도의 오차를 추가시킬 수 있다[ ].

상전압을 이용하여 전압 불평형을 표현하는 가장 간단한 방법은 식 (4)와 같이 3상에서 전압과 평균값과의 편차를 구하여 평균전압과 비교하는 것이다.

$$VUF_4 = \frac{|V_{avg_p} - \max(V_a, V_b, V_c)|}{V_{avg_p}} \quad (4)$$

식 (4)는 일반적으로 허용되고 있는 전압 불평형을 보다 다소 높게 나타낼 수 있다.

식 (5)는 선간전압을 가지고서 전압 불평형을 구하는 것으로서 각 선간전압과 평균 선간전압과의 차이에서 최대값을 평균값으로 나누어 구하는 것이다.

$$VUF_5 = \frac{\max[|V_{ab} - V_{avg}|, |V_{bc} - V_{avg}|, |V_{ca} - V_{avg}|]}{V_{avg}} \quad (5)$$

전압불평형의 계산에서 상전압, 선간전압 그리고 전압의 크기와 위상각에 따라 대칭 및 비대칭으로 구분하여야 한다. 그러나 설계자나 엔지니어가 쉽게 이해할 수 있는 계산법의 제시가 매우 중요하다.

일정기간동안 나타나는 전압 불평형을 찾아내기 위해서는 각 상의 선간전압의 크기만으로 계산이 가능한 식 (6)과 같은 관계식을 이용한다. 식 (6)은 각 상의 선간전

압만 알 경우 전압 불평형을 쉽게 구할 수 있으므로 가장 널리 이용하고 있다. 이 식은 전압의 위상각을 고려하지 않고 전압의 크기만으로도 정확한 전압 불평형을 구할 수 있는 장점을 가지고 있다.

$$VUF_6 = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\gamma}}{1 + \sqrt{3 - 6\gamma}}} \quad (6)$$

식 (6)에서  $\gamma$ 는 다음과 같다.

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

선간전압의 크기가 다를 경우 헤론의 공식을 이용하여 전압 불평형을 산출할 수 있다. 선간전압으로 이루어진 삼각형의 절반둘레를  $s$ , 면적  $K$  및 등가 3상 전압 실효값을  $V_e$  라고 할 경우 전압 불평형을 식 (7)과 같다.

$$VUF_1 = \sqrt{\frac{K_e - K}{K_e + K}} \quad (7)$$

여기서  $K$ ,  $s$ ,  $K_e$ ,  $V_e$  는 각각 다음과 같다.

$$K = \sqrt{s(s - V_{ab})(s - V_{bc})(s - V_{ca})}$$

$$s = \frac{V_{AB} + V_{BC} + V_{CA}}{2}$$

$$K_e = \frac{\sqrt{3}}{4} V_e^2$$

$$V_e = \frac{V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2}{3}$$

전압 불평형을 계산하는 또 다른 방법으로는 각 선간전압의 크기를 이용하여 도식적인 방법으로 구할 수 있다. 그림 4는 각 선간전압의 크기를 이용하는 것으로 가장 높은 전압과 가장 낮은 전압값을  $120^\circ$ 와  $240^\circ$ 로 회전하여 정상분과 역상분의 값을 찾는 방법이다.

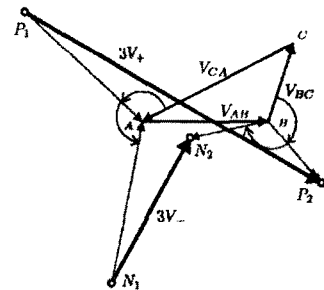


그림 4 불평형된 선간전압의 분리에 의한 정상분 및 역상분

그림 4에서 3상 선간전압의 크기로 구성된 삼각형의 세변은 각각  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $V_{CA}$ 이다. 여기서는 한 변을 기준으로 벡터 회전에 의한 전압 해석이 필요하다. 그림 4의 A점으로부터  $V_{CA}$ 는 시계반대 방향으로  $120^\circ$ (점  $P_1$ )와  $240^\circ$ ( $N_1$ )회전하였고, 점 B로부터  $V_{BC}$ 는 시계방향으로  $120^\circ$ (점  $P_2$ )와  $240^\circ$ ( $N_2$ )회전하였다. 벡터  $P_1P_2$ 의 길이는  $3V_+$ 가 된다. 마찬가지로 벡터  $N_1N_2$ 의 길이도

3V<sub>-</sub>가 된다. 이때의 전압 불평형율은 V<sub>-</sub>/V<sub>+</sub>의 비율로 계산하면 된다.

### 2.3 전압 불평형을 측정방법

전압 불평형을 평가하기 위한 기본적인 요구조건은 측정 및 관찰기간(observation periods), 계산방법(calculation method), 평가기법(evaluation technique)이다.

전압 불평형 평가는 적어도 주기당 32개의 샘플비율에서 각 상 또는 선간 기본과 전압을 샘플링하기 위한 정상상태 현상이다. 신호에서의 고조파 성분을 제거하기 위해 아날로그 필터가 사용될 경우 낮은 샘플링 비율이 사용된다. 일반적으로 고압 또는 특고압 전력시스템의 전압을 측정할 경우에는 3개의 고정도(0.6% 이하) 계기용 변압기(VT)가 사용되어야 한다. 전압 불평형을 평가하기 위해 사용되는 VT는 동일한 것이어야 하고, 임피던스가 같아야 한다.

측정 장비로 측정하는 전압값은 실효값이다. 간격 T에 대한 신호 u(t)의 실효값은 식 8과 같다.

$$U_{s-T} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} \quad (8)$$

전압값을 측정하는데 사용되는 실효치 측정간격은 200[ms], 3[s], 10[min] 및 2[hour] 등이 있다. 단상 시스템의 경우에는는 각 간격에 대해 하나의 실효값만 있다. 3상 시스템에 대해서는 각 간격(3선식 시스템에 대해)에 대해 3개의 실효값이 있고, 대응되는 상(4선식 시스템에 대해)에는 6개가 존재한다.

측정시 측정시간 간격은 매우 중요하다. IEC에서는 3개의 집합(측정) 간격(aggregation interval) 즉, 3s, 10min 및 1h를 정의하고 있으며, IEEE에서는 표 2와 같이 고조파와 관련하여 5개의 측정간격(time interval)을 설정하고 있다.

표 2 구분별 측정간격

구분	간격
Very short interval	3 sec
Short interval	10 min
Long interval	1 hour
One day interval	24 hour
One week interval	7 day

이들 측정 구분 중에서 전압크기, 불평형, 고조파 및 플리커와 같은 정상상태 전기품질 변화를 설명하기 위해서는 매우 중요하다. 이들 모든 양은 전기품질의 특징을 나타내는 중요한 요소로서 전압 불평형율의 경우 10분 값을 사용하여 통계적으로 설명하고 있다.

### 2.4 국내의 전압불평형율 허용기준

표 3은 전압 불평형율에 관련된 국내의 기준들이다. 전압, 측정 장소 및 부하의 운전특성에 따라 약간의 차이가 있다. 그러나 표 3에서와 같이 대부분의 규정에서 전압 불평형율은 3% 이내로 제한하고 있다.

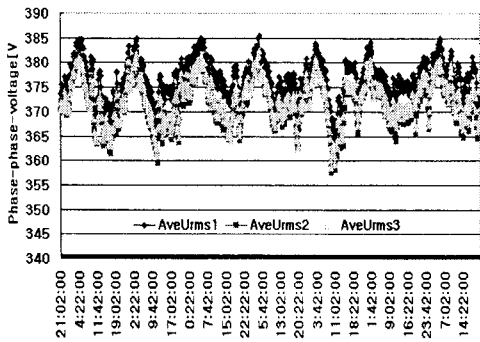
표 3 전압불평형율 허용범위[8-10]

관련규격	허용범위 [%]	비고
NEMA	1.0	at the motor terminals
IEC-3000-3-x	<2.0 (LV,MV) <1 (HV)	measured as 10-minute values, with instantaneous maximum of 4%
IEC 61000-2-12, 61000-2-2	2	Low voltage characteristics according to EMC Std EN 61000
IEC 610034	1	over a long period
	1.5	for a short period nor exceeding a few minutes
	1	a zero-sequence component not exceeding 1% of the positive-sequence component
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
ANSI C84.1	3	at the electric-utility revenue under no-load conditions
EN50178	2	(V <sub>0</sub> /V <sub>1</sub> 비대칭)
NRS 048-2	2	단상 또는 2상 수용가가 많은 경우 3%
일본전기공업회	2.8	정상 운전시, 장기간 수명보장을 위해서는 1[%]이하
전기설비 기술기준	3	변압기의 결선방식에 따라 계산하여 변전소 수전점에서

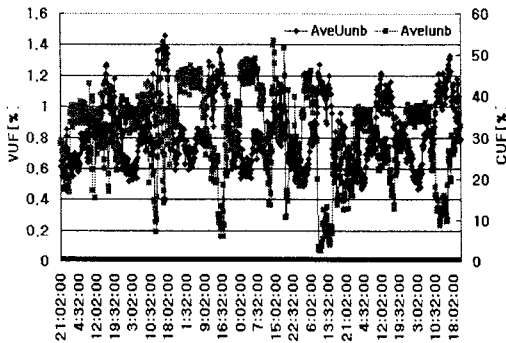
### 3. 현장 측정 및 결과분석

부하는 사용 장소, 사용 시간, 부하의 운전패턴 등에 따라 달라진다. 같은 3상 4선식에서도 3상 부하의 각 임피던스가 다르거나 선로의 임피던스에서 차이 그리고 3상 선로에 단상 부하의 운전 등에 흐르는 전류값이 달라진다. 따라서 보다 높은 정확한 불평형 비율산정을 위해서는 다소 긴 기간 동안 측정이 요구된다. 그래서 일주일 동안 부하에 따라 전압값이 달라질 수 있는 장소인 간선 및 분기선에서 측정을 통해 분석한 결과를 그림 5 및 6에 나타내었다.

그림 5는 분기(branch)장소에서 10분 간격으로 일주일 동안 측정된 전압 파형 및 불평형율의 결과를 분석한 것이다. 전압 및 전류 불평형율은 식 9을 사용하였다.



(a) 전압파형

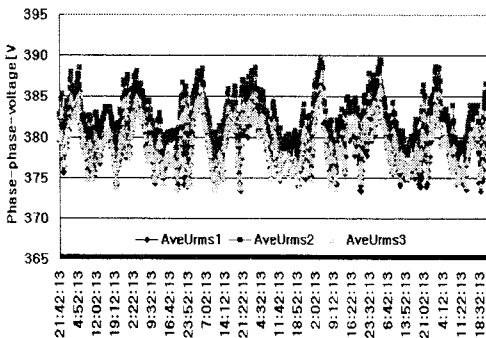


(b) 전압 및 전류 불평형률

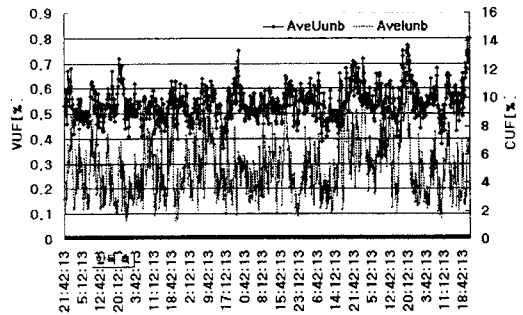
그림 5 분기선에서의 전압 값 및 불평형률

그림 5(a)에서 전등 부하값은 낮지만 에어컨과 같은 부하의 사용량이 많을 경우 순간전압은 작고, 순간전압이 거의 일정한 비율로 변화하기 때문에 부하량의 변화에 비해 전압 불평형률은 상대적으로 낮다. 부하변동이 커짐에 따라 전압값의 차이는 약간 높아져 전압 불평형률은 그림 5(b)에서와 같이 다소 변동이 발생한다. 그림 5(b)에서와 같이 전류 불평형률은 일부시간대에서는 허용 범위 내 들어가지만 대부분의 시간대에서는 초과함을 알 수 있다.

그림 6은 간선회로(feeder circuit)에서 10분 간격으로 일주일 동안 측정된 전압 및 전류값에 대한 분석결과이다.



(a) 전압파형



(b) 전압 및 전류 불평형률

그림 6 간선에서의 전압, 전류 파형 및 불평형률

그림 6(a)에서 부하 변동이 일정하고, 3상 전압이 일정한 패턴으로 변동할 경우 전압파형의 변동이 상당히 안정되어 전압 불평형률은 매우 낮아짐을 알 수 있다. 부하가 일정한 패턴으로 변화함에 따라 각 순간전압의 차이가 없어 전압 및 전류 불평형률이 상대적으로 낮다. 그림 6에서와 같은 분기선에 비해 부하분배가 적절하게 이루어지고, 사용량이 각상 평형일 경우 그림 6(b)와 같이 부하 불평형률은 상대적으로 낮아 허용범위 이내에 들어감을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

전기품질은 전압품질과 같은 의미로서 전압의 품질변화가 대부분에 전기품질의 질 저하에 영향을 미치는 것으로서 안정적인 전기품질 확보가 매우 중요하다. 그러나 수용가에서 주로 채택되고 있는 3상 4선식 배전시스템에 단상 및 3상 전력을 공급할 경우 시스템의 간편성은 확보되지만, 부하의 운전에 전압 및 부하 불평형이 발생한다.

전압 불평형은 선형 및 비선형 부하에 영향을 미치는 데 약간의 전압 불평형은 높은 비율의 전류 불평형으로 이어진다. 특히 에너지의 소비량이 가장 높은 비중을 차지하고 있는 부하기기중의 하나인 3상 유도전동기에서의 전압 불평형은 전동기 권선의 수명을 떨어뜨리고 출력특성을 저하시킨다. 전동기 고장자 단자에 인가되는 전압이 불평형일 경우 이에 비례하는 이상의 상전류 불평형을 발생시킨다. 불평형된 전류는 토크 맥동, 진동증가 및 기계적인 스트레스, 손실증가와 권선 절연수명을 열화시키는 결과를 초래하는 과열을 초래한다.

비선형부하인 전력변환장치의 사용시 불평형된 전압이 인가될 경우 소자 특성에서 발생하는 특정 차수 이외의 고조파를 발생시켜 고조파를 줄이기 위한 필터 설계에도 어려움을 제공한다. 특히 3상 4선식 시스템에서 전압 불평형에 의한 고조파의 영향은 중성선에 매우 왜형된 높은 전류를 흐르게 하고 있다. 특히 고조파 전류 기기의 손실증가는 물론 임피던스가 낮은 가까운 쪽으로 이동하여 시스템 동작에도 나쁜 결과를 발생할 수 있다.

전압 불평형률에 가장 큰 변수로 작용하는 것은 3상 4선식 설비에서 각상에 흐르는 전류값의 대소가 전압에 영향을 미치기 때문이고, 다음 변수로서는 부하의 임피던스에 의한 전압의 위상각차이가 전압 불평형률의 크기

에 중요한 변수로 작용할 수 있다. 따라서 전압 불평형율을 줄일 수 있도록 하기 위해서는 3상 4선식에서 부하는 3상과 단상으로 분리하여 운전하는 경우가 중요하며, 분리가 어려울 경우에는 위상각의 차이가 크지 않은 부하별로 연결 사용하는 것도 전압 불평형율을 낮추는 변수가 된다.

전압 불평형율에 대한 현장 측정에서는 국내 전기설비 기술기준이나 외국에서 제시한 일반적인 허용범위 3%를 초과하는 경우는 거의 발생하지 않았다. 그러나 간이설비를 통해 일시적인 부하의 변동에서는 3%를 초과한 경우를 확인할 수 있었다. 부하의 불평형에 의한 전압의 변동을 줄이기 위한 설비 불평형율은 전압의 변화에 일부 영향을 미칠 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구결과에서 검토한 우리나라에서 채택하고 있는 3상 4선식 저압 수용가 설비에서의 전압 불평형율은 부하의 형태에 따라 달리 설정할 필요가 있다.

⑩ 3상 4선식 설비에서 3상 부하만 단독으로 운전하는 경우는 부하의 최대 출력을 보증하기 위해서는 전압 불평형율을 1[%] 이내로 제한할 필요가 있다.

⑪ 3상 4선식 설비에서 단상 부하와 3상 부하가 혼합되어 운전되는 조건의 경우 단상부하의 비중이 3상 부하보다 높은 경우 전압 불평형율의 허용범위는 3[%] 이내로 제한하고, 같은 조건에서 3상의 비중이 단상부하보다 높은 경우에는 2[%] 이내로 제한할 필요가 있다.

#### 감사의 글

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

#### [참 고 문 헌]

- [1] Roger C. Dugan et al., "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 2005
- [2] P. Pillay and M. Manyange, "Definitions of voltage unbalance", IEEE Power Eng. Rev. Mag., vol.5, pp.50-51, May 2001.
- [3] 정중호외 3인, "전압불평형율의 현장 측정 및 분석", 대한전기학회 논문지(P), 제 54권, 1호, pp.41-46, 2005. 3
- [4] 김종겸, 이은웅, "불평형 전압으로 운전시 비선형 부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B), 제 51권, 6호, pp. 285-291, 2002.6
- [5] 김종겸, 박영진, 이은웅, "부하 변동에 의한 전압불평형율의 특성해석", 제 54권, 1호, pp.47-52, 2005. 3
- [6] 김종겸, 이은웅, "불평형 전압으로 운전시 비선형부하에 나타나는 현상", 대한전기학회 논문지(B) 제 51권, 6호, pp.285-291, 2002. 6
- [7] 대한전기협회, "내선규정-불평형부하의 제한"제 115절
- [8] 산업자원부, "3상 4선식 부하설비의 전압 불평형율 허용기준(안) 제정" 최종보고서, 2005. 9
- [9] IEC-61000-4-30, "testing and measurement techniques-power quality measurement methods"
- [10] EN 50160, "Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems", 2000, 2