

The Phenomena Giving Rise of Nonlinear Load Operated by Unbalance Voltage

金宗謙* · 李殷雄**
(Jong-Gyeum Kim · Eun-Woong Lee)

Abstract - In general, utility voltage is maintained at a relatively low level of phase unbalance since a low level of unbalance can cause a significant power supply ripple and heating effects on the power system equipment. Voltage unbalance more commonly emerges in individual customer loads due to phase load unbalances, especially where single phase power loads are used. Under unbalanced input voltages large lower order harmonics appears at the input and output ports of power conversion devices. As the application of adjustable-speed drives (ASDs) and their integration with complex industrial processes increase, so does the need to understand how ASDs perform during voltage unbalance.

This paper describes a real load test to investigate the performance of 3-HP adjustable speed drives by an unbalanced voltage at the low-voltage system.

Key Words : Voltage Unbalance, Current Unbalance, Nonlinear-Load, Harmonics, ASD, THD

1. 서 론

지난 수십년 동안 전원 공급자는 정전압 정주파수의 안정된 전력을 수용가에 공급하고, 설비 제작자는 약간의 전원 변동에도 정상적인 동작이 가능한 제품개발에 주력하였으며, 수용가는 전원을 적절한 곳에 공급하여 사용 제품이 제 성능을 발휘하도록 많은 노력을 해왔다.

단상 및 3상 부하설비가 공존하는 저압 수용가는 상전압 불평형이 일정범위 이내로 유지하도록 상 부하분포를 설계하지만, 단상부하 사용이 증가하면 불평형이 커진다. 또한 전동력 응용에 가변속 드라이브(ASD)가 채택되면 수용가 부하는 시간에 따라 상별 전압변동이 크다.

최근 자동화에 따른 전력소자로 된 전자장비의 사용이 늘어나면서 높은 전력품질을 요구하고 있으나, 전력반도체가 비선형 부하이기 때문에 고조파가 발생되어 자체는 물론 인근 설비에까지 큰 영향을 미칠 수 있다[1-5]. 컴퓨터와 같은 단상 비선형 부하와 ASD의 결합은 상 불평형율을 더욱 높게 할 수 있다.

전력품질에서 전압에 관련된 용어는 각각 전압의 크기와 주기에 따라 달리 표현한다. 전압 새그(sag)는 전압 변동범위가 정격전압의 10~90[%]로 0.5~30사이클 내외이고, 전압 불평형의 변동범위는 5[%] 이내 지속하는 현상으로 전압 변동율과 불평형율에 따라 시스템에 미치는 정도가 다르다

[5,6]. 일반적으로 전원측 전압불평형은 1[%] 이하로 유지하더라도 수용가측에서는 부하의 종류에 따라 이 범위를 상회하는 경우가 있다[7,8].

부하예로 유도전동기는 어느 정도까지 회전자 관성력 때문에 전압변동의 영향을 작게 받지만, 민감한 전자장비는 시스템의 오동작으로 자체뿐만 아니라 연결된 시스템 전체에 영향을 미칠 수 있다.

불평형 전압에 대한 부하의 민감성은 전기공급설비와 사용자 사이 불안감을 증가시키고, 비선형 부하에 의해 발생되는 높은 고조파 전류는 민감한 전자장비의 동작특성에 나쁜 영향을 미쳐 인접회로에 고조파 전류를 강제적으로 흘려 보 호장비를 오동작시킬 수 있다. 그리고 저압설비는 운전중 지속적인 전압불평형이 전류의 증가로 이어져 기기의 과열 과 출력저하를 발생시키고, ASD와 같은 비선형 부하는 큰 고조파 전류를 발생시켜 시스템에 나쁜 영향을 준다.

일반적으로 저압설비에서 3상 비선형 부하의 용량이 단상 비선형 부하에 비해 크기 때문에 전압불평형에 의한 전류고 조파의 영향이 상대적으로 높다.

본 논문에서는 단상 및 3상 부하가 함께 연결된 저압간선에서 비선형 부하인 ASD의 사용시 전원측 전압불평형에 의한 컨버터 입구단의 고조파의 발생정도를 측정 분석하고자 한다.

2. 전압 및 전류 불평형

2.1 전압 및 전류 불평형의 정의

3상 시스템의 불평형의 나쁜 영향이 결상보다는 덜 심각하지만, 3상 부하의 신규 설치시 상평형을 고려하여야 하며, 평형된 기존 시스템에 단상부하가 추가되거나 제외됨에 따

* 正 會 員 : 原州大 電氣科 副教授 · 工博

** 正 會 員 : 忠南大 工大 教授 · 工博

接受日字 : 2002年 3月 12日

最終完了 : 2002年 4月 16日

라 불평형이 발생하지 않도록 해야한다.

불평형 전압은 전력시스템과 장비에 부작용을 일으킬 수 있으며, 약간의 상전압 불평형에서 큰 상전류 불평형을 일으킬 수 있다.

전압불평형(voltage unbalance)은 다음 3가지로 정의한다.

i) NEMA의 선간전압 불평형율(LVUR:Line voltage unbalance rate)

$$LVUR = \frac{\text{평균 선간전압 크기에서 최대전압편차}}{\text{평균선간전압}(V_{avg})} \times 100[\%] \quad (1)$$

$$\text{여기서 } V_{avg} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ca}}{3}$$

ii) IEEE Std.141의 상전압 불평형율(PVUR:Phase voltage unbalance rate)

$$\text{여기서 } V_{pavg} = \frac{V_a + V_b + V_c}{3}$$

$$PVUR = \frac{\text{평균 상전압 크기에서 최대전압편차}}{\text{평균상전압}(V_{pavg})} \times 100[\%] \quad (2)$$

iii) 정상분(V_1)에 대해 역상분(V_2)의 비율로서 정의하는 전압불평형율(VUF:Voltage unbalance factor)

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \times 100[\%] \quad (3)$$

3상 불평형 선간전압 V_{ab} , V_{bc} 및 V_{ca} 를 식(4), (5)와 같이 정상분 V_1 과 역상분 V_2 의 대칭성분으로 변환하면 불평형 조건하에서 유도전동기의 동작을 해석할 때 편리하다.

$$V_1 = \frac{V_{ab} + a \cdot V_{bc} + a^2 \cdot V_{ca}}{3} \quad (4)$$

$$V_2 = \frac{V_{ab} + a^2 \cdot V_{bc} + a \cdot V_{ca}}{3} \quad (5)$$

여기서 $a = 1 \angle 120^\circ$, $a^2 = 1 \angle 240^\circ$ 이다.

전류 불평형율은 식(1), (2), (3)의 전압값 대신 전류값을 대입하여 계산할 수 있다.

표 1 전압 불평형율의 비교

Table 1 Comparison of voltage unbalance ratio

구분	V_a	V_b	V_c	V_1	V_2	LVUR [%]	PVUR [%]	VUF [%]
balanced	127.0 $\angle 0^\circ$	127.0 $\angle 240^\circ$	127.0 $\angle 120^\circ$	127.0	0	0	0	0
1ph-uv	117.0 $\angle 0^\circ$	127.0 $\angle 240^\circ$	127.0 $\angle 120^\circ$	123.7	3.3	2.7	5.4	2.7
2ph-uv	117.0 $\angle 0^\circ$	122.0 $\angle 240^\circ$	127.0 $\angle 120^\circ$	122.0	2.89	2.0	4.1	2.4
3ph-uv	117 $\angle 0^\circ$	121 $\angle 240^\circ$	125 $\angle 120^\circ$	121.0	2.31	1.7	3.3	1.9
1ph-asym	127 $\angle 0^\circ$	127 $\angle 240^\circ$	127 $\angle 115^\circ$	126.9	3.69	2.5	0	2.9
2ph-asym	127 $\angle 0^\circ$	127 $\angle 238^\circ$	127 $\angle 118^\circ$	126.9	1.48	1	0	1.2

표 1은 저압 220[V] 3상 전원전압의 평형, 상별 불평형 및 비대칭의 예를 식(1)~(5)으로 나타낸 것으로서 표현방법에 따른 전압불평형율에 다소 차이가 있지만, 선간전압에 의한 불평형율과 대칭좌표법에 의한 불평형율의 계산결과는 비슷하다. 상전압 불평형율은 선간전압 및 대칭좌표법으로 구한 값에 거의 2배에 가깝고, 비대칭이 존재할 경우 위상각 불평형을 표현할 수 없어 거의 사용하지 않는다.

규격으로 명시된 전압불평형율 허용범위는 표 2에 조사된 것처럼 1~3[%] 정도이다. 부하를 효율적으로 운전하기 위해서는 무부하 상태에서 전력량계로 측정할 때 최대 전압불평형율이 3[%] 이하로 제한하고, 전동기와 전력전자장비 제작사는 1[%] 보다 적은 전압불평형을 원하지만, 국제규격으로 2[%] 정도까지 허용하고 있다[5,3,9]. 그러나 PWM 인버터의 입력측에 0.3[%] 정도의 전압불평형이 존재할 경우 전압노칭과 ASD의 전류 과보호 고장 감지기를 트립시킬 수 있는 크기의 전류가 흐를 수 있다[7,8,10,11].

표 2 전압 불평형율의 허용범위

Table 2 Allowable limits of voltage unbalance rate

규격	허용범위	비고
NEMA MG-14.33-1993	1[%]이하	
IEC 61000-2-2	2[%]	
IEEE 1159-1995	0.2~2[%]	
ANSI C84.1-1995	3[%]	무부하시

2.2 불평형 전압 발생 원인

완전 평형 3상 전력시스템이 이론적으로 가능하고 실제로 어렵더라도 각 상의 부하가 평형을 이룰 때 최대 효율로 동작하도록 전력설비를 설계한다.

전압 불평형의 공통적인 원인은 다음과 같다.

- 역율 보상장비의 오동작
- 불평형 또는 불안정한 전원공급
- 큰 3상부하를 공급하는 불평형된 변압기 탭
- 같은 전원시스템에서 불균일하게 분포된 단상접지
- 부정확한 단상 지락사고
- 균일하지 않은 변압기 탭절환
- 배전 시스템 1차측의 개방회로
- 용접기와 같은 큰 단상부하

5[%] 이상의 가혹한 전압불평형은 단상부하의 고르지 못한 각상 확장 때문이다. 다상 장비의 정격부하용량은 전압 불평형에 의해 줄어들기 때문에 평형전압과 작은 전압변동을 요구한다.

3. 불평형 전압으로 운전되는 비선형부하의 동작특성

3.1 비선형 부하

정상적인 동작상태에서 인가전압의 정현적인 주기변화에 관계없이 일정한 부하임피던스를 나타내는 전기적인 부하장치를 선형부하(linear load)라고 하고, 불연속적 전류를 끌어들이는 부하 또는 부하의 임피던스가 변화하는 부하를 비선형 부하(non-linear load)라고 한다[3,4]

그림 1(a)는 SMPS(switch mode power supply)용 전력변환장치에 정현 전압을 인가할 경우의 전압 및 전류파형을 나타낸 것으로 전압 한 주기(16.67[ms])동안 전류 파형은 두 번의 피크가 발생하여 전체 전류 고조파 왜형률(THD)이 높다. 한 주기동안의 전압(V_1)에 대한 전류(I_h)의 관계를 나타낸 부하선(load line)은 그림 1(b)와 같이 선형적인 변화가

아닌 비선형적인 변화를 한다. 선형부하의 경우 부하선에 대한 구배는 0 이거나 일정한 비율을 나타내지만, 비선형부하인 전력변환장치의 부하선 구배는 부하에 따라 달라지는데 그림 1(c)는 그림 1(b)에 대한 파형의 구배를 시간간격 16.5[ms]마다 계산한 것으로서 두개의 피크에 대한 기울기는 선형부하와는 일정하지 않는 모습을 나타낸다. 이와 같은 비선형부하의 사용은 고조파의 발생원인이 된다.

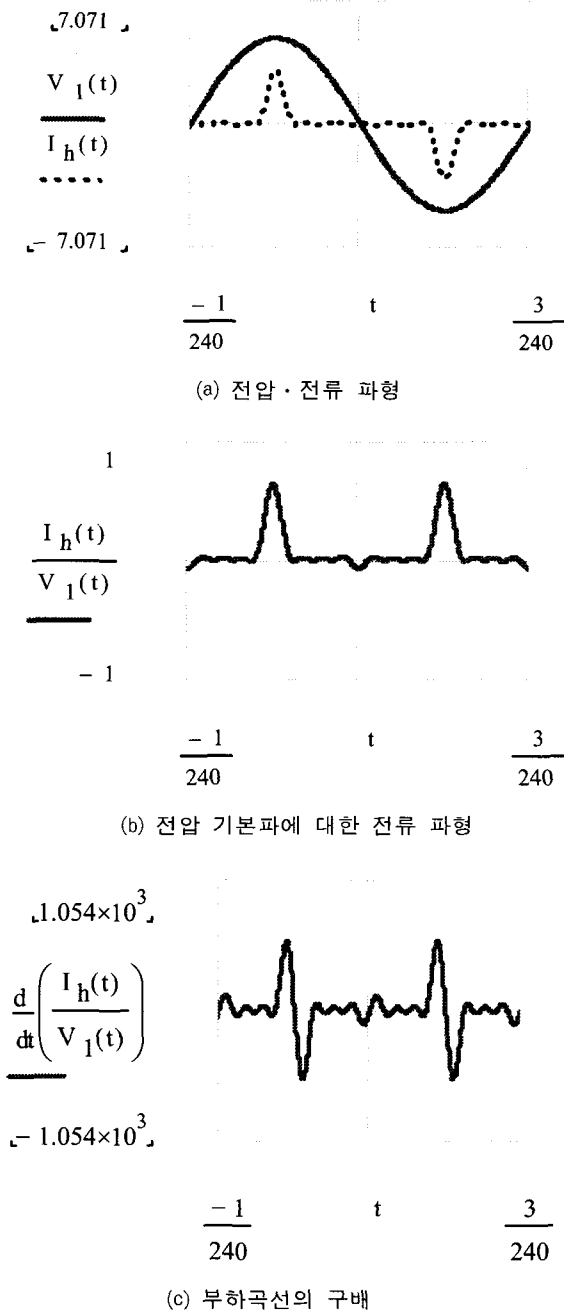


그림 1 비선형 부하 특성곡선
Fig 1 Characteristic curve of non-linear load

3.2 전압불평형 운전 및 측정 시스템

일반 수용가의 대부분은 특고압 또는 고압에서 3상 220[V] 저압으로 전력을 변환하여 부하에 공급한다. 그림 2는

일반 수용가의 전원설비에 3상 부하와 단상 부하가 함께 연결되어 있는 저압설비의 측정시스템의 구성도이다.

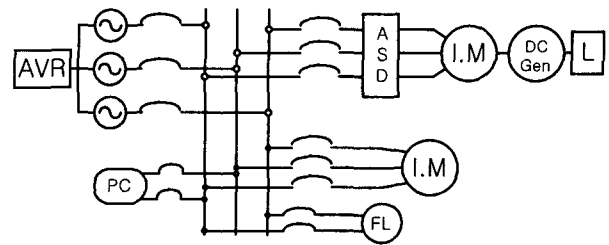


그림 2 측정시스템 구성
Fig 2 Measurement system

불평형 전압에 의한 영향을 측정하기 위해 자동전압조정기(AVR)를 그림 2의 전원 측에 연결하여 전압을 조정하였다. 비선형 부하인 ASD를 이용하여 3마력 유도전동기의 속도를 조정하였으며, 부하 변동에 따른 영향을 조사하기 위해 전동부하의 전력공급용 DC 발전기를 유도전동기의 부하(L)로 사용하였다. 발전기 출력단에 연결된 전동 부하는 2[kW]이고, 인버터의 스위칭 주파수 12[kHz]에서 부하의 운전주파수 60[Hz]로 전부하 운전할 때 비선형부하인 컨버터에서 발생하는 고조파 전류를 측정하였다.

공급 전원은 1차측 380[V] 2차측 220[V] 용량 10[kVA]인 AVR을 사용하였다. 출력전압의 변화에 따른 특성변화를 알기 위해 AVR의 전압 변동폭은 220±15[V]로 변화시키면서 전압불평형은 1~5[%] 까지 조정하였다. 불평형 전압이 비선형부하의 운전에 미치는 영향의 측정을 위해 애질런트(Agilent)사의 10440B 전압프로브와 1146A인 전류프로브를 사용하였다.

비선형 부하의 사용으로 발생하는 고조파 성분을 분석하기 위해 측정 결과값을 엑셀로 읽어 Mathcad 프로그램으로 FFT 변환하였다.

표 3은 불평형전압으로 비선형 부하를 운전할 때 상별 고조파의 크기를 측정하기 위한 각 선간전압에서 정상, 역상분의 크기와 불평형율을 나타낸 것이다.

표 3 측정을 위한 전압 불평형율의 비교

Table 3 Comparison of voltage unbalance ratio for measurement

V_{ab}	V_{bc}	V_{ca}	V_1	V_2	LVUR [%]	VUF [%]
221.4 ∠ 0°	221.8 ∠ 240°	220.7 ∠ 120°	221.3	0.32	0.27	0
215.0 ∠ 0°	219.0 ∠ 240°	217.0 ∠ 120°	217.0	1.15	0.92	0.53
213.0 ∠ 0°	207.0 ∠ 240°	215.0 ∠ 120°	211.67	2.4	2.2	1.1
224.5 ∠ 0°	237.0 ∠ 240°	228.0 ∠ 120°	229.83	3.72	3.1	1.6
206.0 ∠ 0°	222.5 ∠ 240°	223.7 ∠ 120°	217.4	5.71	5.24	2.6

3.3 전원에 따른 비선형 부하의 운전

이상적인 조건하에서의 전원설비는 고조파가 포함되지 않

는 정현적인 파형을 공급하더라도 ASD와 같은 비선형 부하가 사용될 경우는 전압 왜형이 발생한다.

그 이유는 비선형부하의 사용으로 발생한 전류고조파는 임피던스의 곱에 비례하는 전압고조파를 발생하기 때문이다. 이 불평형전압이 공급되는 비선형부하에서 발생하는 전압고조파는 연결된 시스템에도 나쁜 영향을 미칠 수 있다.

전압불평형으로 비선형부하에 의해 발생하는 전류파형은 기본과 I_1 의 고조파 성분 I_h 를 포함하는 식(6)과 같다.

$$I = I_1 + \sum_{h=2}^{\infty} I_h \quad (6)$$

THD는 기본과 실효치에 대한 고조파 실효치의 합으로 나타낸 식(7)과 같다.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \quad (7)$$

THD와 왜형율(DF:Distortion factor)의 관계 식(8)에서 비선형 부하에 의한 고조파의 함유량이 높을수록 DF가 낮아져 THD가 100[%] 일 때 70[%]로 된다.

$$DF = \frac{1}{\sqrt{1+(THD)^2}} \quad (8)$$

이와 같이 낮은 왜형율을 보상하기 위해 커패시터의 설치 는 공진과 높은 고조파를 발생할 가능성이 높기 때문에 고조파 발생량이 적은 제품의 사용이나 필터를 설치하는 것이 도움이 된다.

3.3.1 평형 전원에 의한 비선형부하 운전

그림 3은 평형에 가까운 전압을 인가하고 ASD로 3마력 유도전동기를 정격부하로 운전할 때 컨버터 입력단에서 측정 한 전압 및 전류 파형이다. 전압 파형은 정현파에 가깝지만 피크부분에서 고조파의 영향으로 flap top 모양이고, 전압 THD는 6.1[%]이다. 각 상별 전류 파형은 R상과 T상이 비슷하지만, S상이 약간 다른 형태를 나타낸 것은 완전한 3상 평형 전압이 인가되지 않았기 때문이다. 부하를 감소시키면 각 전류 파형의 펄스간격이 작아진다.

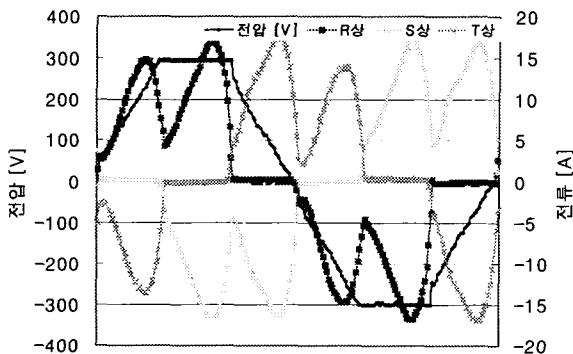


그림 3 평형에 가까운 전압 인가시 전압·전류 파형
Fig 3 Voltage¤t waveform by approximate balanced source

컨버터에 유입하는 전류는 컨버터에 의해 반 주기당 두개의 펄스로 되며, 각 전류 펄스는 선간전압이 직류 버스 커패시터 전압을 초과하는 짧은 기간동안에 발생한다.

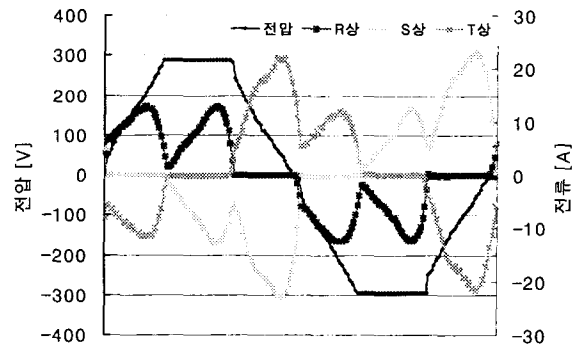
비선형부하 단독으로 운전할 경우 컨버터 입구단에서 발생한 전류의 고조파성분은 컨버터의 커패시터와 인덕턴스 성분에 의해 매우 짧은 펄스 형태로 되며, 여과 없이 비선형 부하의 바로 앞단 또는 같은 간선에 연결된 다른 부하에 영향을 미칠 수 있다. 부하의 크기에 따라 전류값이 변화하므로 정격부하에서는 상당히 큰 고조파 전류가 발생하여 다른 시스템에 주입하게 된다.

상전압이 불평형일 때 한 상 또는 다른 두 상의 피크전압이 공칭 커패시터 전압 이하로 낮으면 다이오드가 순방향으로 바이어스 되지 않기 때문에 도통되지 않게 되어 교류 라인에서 커패시터로 에너지 흐름이 끊기고, 다음 입력전압 피크 크기가 다이오드를 순방향 바이어스 될 만큼 충분히 높을 때까지 커패시터는 방전하기 때문에 피크 전압까지 커패시터를 재충전하려면 입력전류는 매우 높아 실제 정격의 200[%]를 넘을 수도 있으며 정상적인 전류의 거의 4배가 될 수도 있다[10].

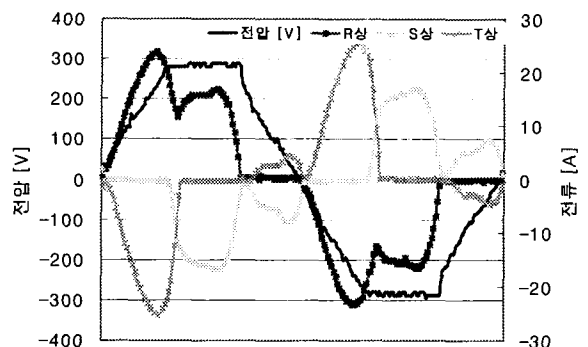
3.3.2 불평형 전원에 의한 비선형부하 운전

3상 전압불평형은 1[%]를 초과하지 않아야 하나 실제로는 이 범위를 초과하여 운전하는 경우가 발생한다. 그림 4는 3마력 유도전동기를 비선형 부하인 ASD로 그림 2의 결선으로 정격 운전할 경우 전압불평형율에 따른 전압 및 각상 전류의 측정파형이다.

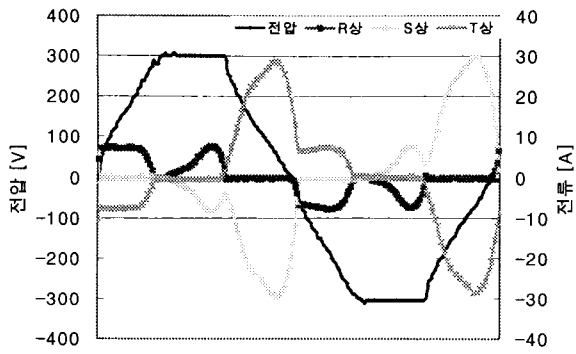
불평형율 1~5[%]로 운전하면 전압 THD는 권고기준 10[%] 이내의 6.6[%]로 들어가며 평형전압과 거의 같다.



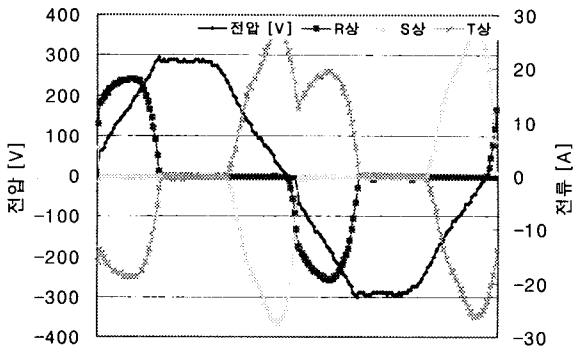
(a) 1[%] voltage unbalance



(b) 2[%] voltage unbalance



(c) 3[%] voltage unbalance



(d) 5[%] voltage unbalance

그림 4 불평형 전원에서의 전압 및 전류 파형

Fig 4 Waveform of voltage & current at unbalance power source

그림 4에서 전압 불평형율이 높을수록 각 상의 전류 파형이 매우 다르고, 전류 피크 값이 커서 임피던스와 끝인 전압 고조파 성분이 매우 커질 것이다.

표 4는 그림 2의 측정시스템에서 전압 불평형율의 크기에 따른 각 상별 THD와 평균 THD를 구하고, 고조파의 증가에 따른 왜형율(DF)을 구한 것이다.

표 4 불평형에 따른 상별 고조파의 크기

Table 4 Amplitude of phase harmonics due to unbalance

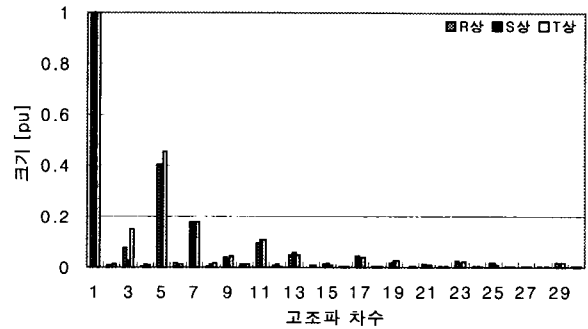
불평형	THD[%]			평균 THD[%]	DF
	R상	S상	T상		
1[%]	52.6	49.8	45.7	49.3	89.7
2[%]	34.4	60.2	78.8	57.8	86.6
3[%]	81.7	66.6	55.9	68.1	82.7
5[%]	84.4	90.7	35.9	70.3	81.8

표 4에서 불평형율이 적을수록 각상별 고조파의 THD가 비슷하고 DF가 크며, 불평형율이 클수록 각 상별 고조파의 THD가 다르고 평균 고조파의 THD도 커짐을 알 수 있다.

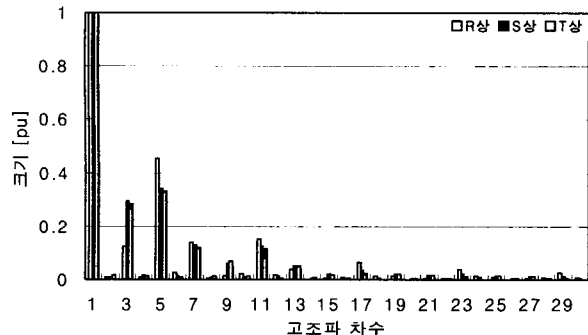
전압불평형에 따른 각 상별 고조파의 해석이 필터의 설계에 반드시 필요하다. 그림 5는 그림 2의 측정시스템에서 측정된 전류파형에서 불평형율을 구하고 불평형율에 대한 전류 파형에 포함된 고조파 차수와 크기를 나타낸 것이다.

3상 평형전원에서의 각 부하 전류패턴은 비슷하기 때문에

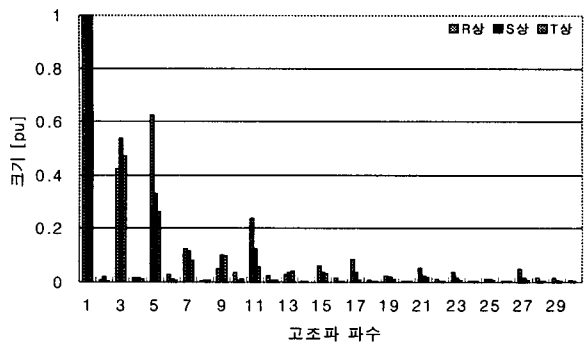
파형의 분석을 통해 특정 고조파의 필터링이 쉽지만, 불평형 전원에서는 각 상의 전류파형이 서로 다르기 때문에 특정 고조파를 저감하기 위한 필터의 설계가 어렵다.



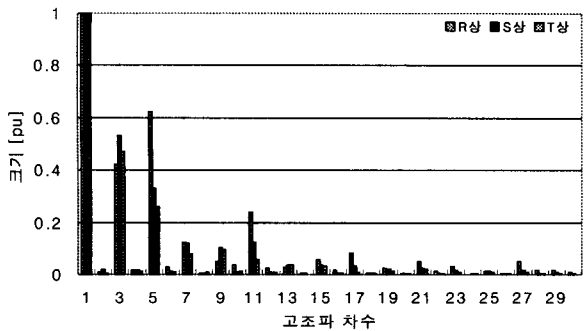
(a) 0.27[%] unbalance



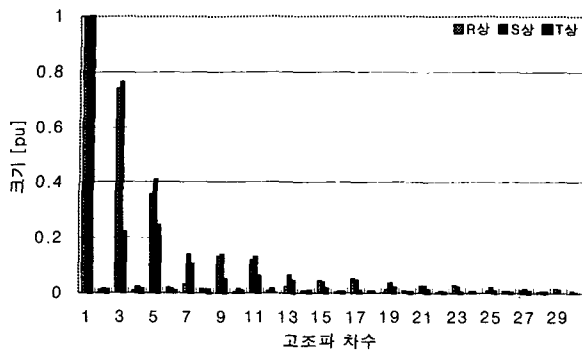
(b) 0.92[%] unbalance



(c) 2.2[%] unbalance



(d) 3.1[%]unbalance



(e) 5.24[%] unbalance

그림 5 전압 불평형 운전시 각 상별 고조파
Fig 5 Phase harmonics at voltage unbalance operation

6펄스의 컨버터에 3상 평형전압이 인가되면 3배수 고조파가 발생하지 않지만, 불평형전압이 인가되면 3배수 고조파가 나타나고 불평형율이 클수록 3차 고조파가 증가한다. 이 증가되는 3고조파는 단상 또는 3상 4선식 부하에 큰 영향을 미칠 수 있다.

이상의 측정결과에서 부하에 공급하는 전압은 평형일 때 고조파 성분이 발생하지 않지만, 단상 부하의 사용으로 불평형 전압이 발생하면 고조파가 발생하고 그 크기가 상별로 큰 차이가 있으므로 필터 설계에 이를 반영할 필요가 있다는 것을 알았다.

4. 불평형 전원으로 운전할 때 나타나는 현상

4.1 전동기에 미치는 영향

앞에서 분석한 것처럼 전압 불평형 운전이 아주 높은 전류불평형을 일으키는데 유도전동기의 경우 전류불평형의 크기가 전압불평형의 5~10배 정도이고[7,8], ASD로 운전하는 유도전동기의 경우 15배를 초과할 수 있어 휴즈 용단, 전동기 과열 등의 문제를 일으킬 수 있다. 실제로 사용중인 전동기의 고장이 불평형 전압과 전류의 영향이 누적되어 발생하는 것임이 밝혀지지 않았다.

비선형부하의 불평형전압 운전에 의한 큰 피크 전류 때문에 전동기는 과열되고 토크 맥동을 일으켜 진동과 소음이 증가하고 베어링을 손상시키며, 토크는 작아지고 전압의 증가는 권선의 절연을 열화시켜 전동기의 수명에 영향을 줄 수 있다. 또한 전압 불평형으로 피크 전류가 존재하면 시스템 인근의 민감한 전자장비에 전달되어 트립 또는 오동작을 일으킬 수 있어 시스템의 신뢰도에 영향을 준다.

불평형전압은 정상분 및 역상분을 포함하는데, 정상분 전압은 정방향 토크를 발생하지만, 역상분 전압은 역회전 토크를 발생시켜 출력 토크 및 속도의 감소와 토크 맥동 및 소음을 증가시킨다. 또한 불평형 전압에서 역상분은 낮은 임피던스로 큰 역상분 전류를 흐르게 하여 기기 온도를 증가시켜 소손시킬 수 있다[8,10].

그림 6은 정격부하로 운전하는 유도전동기의 전압불평형이 출력을 저하시키는 예를 나타낸 곡선으로 전압 불평형율이 2[%] 이면 출력이 5[%] 정도 감소하고, 3[%] 이면

12[%]나 감소함을 알 수 있다. 따라서 부하를 줄이지 않으면서 불평형 전압운전을 하려면 큰 출력의 전동기를 필요로 한다[7,10].

유도전동기는 정격부하에서 전압 불평형이 1[%] 이하일 때 정상적으로 운전하도록 설계하기 때문에 전압 불평형율이 5[%]를 초과하여 운전하는 것은 피하여야 한다[7].

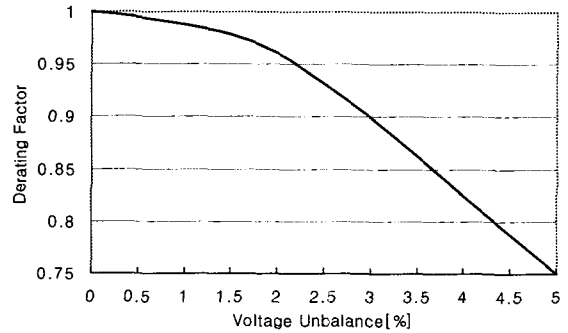


그림 6 불평형 전압에 따른 전동기 출력저하
Fig 6 Motor Derating Factor Due to Unbalance Voltage

그림 5는 전압 불평형율이 높을수록 전동기의 정상적인 토크가 저감되는 것을 측정시스템에서 측정하여 나타낸 것으로 이 그림 5에서 역상분 5, 11, 17 고조파와 영상분의 크기가 커짐을 알 수 있다.

4.2 전력변환장치에 미치는 영향

전력변환장치인 컨버터는 3상 UPS에서 유도전동기의 가변속 제어장치인 ASD에 이르기까지 많은 전자장치의 인터페이스로 사용되고 있다. 그림 7의 유도전동기용 ASD는 교류전원을 직류로 변환하는 컨버터부, 리플전압이 작도록 하기 위한 필터부, 그리고 가변속 제어하기 위해 교류전원으로 역변환하는 인버터부로 구성되어 있다.

전력변환 시스템의 부하측은 PWM 기법을 사용하기 때문에 전원측에서와 같이 저차 고조파를 취급하지 않고 스위칭전압에 의한 영향을 다루고 있다[3].

3상 다이오드 정류기는 약간의 전압 불평형에도 큰 전류 불평형을 일으킨다. 가장 큰 전류는 가장 높은 전압과 동상이므로 부하는 전압불평형을 완화시킬 수 있다[10].

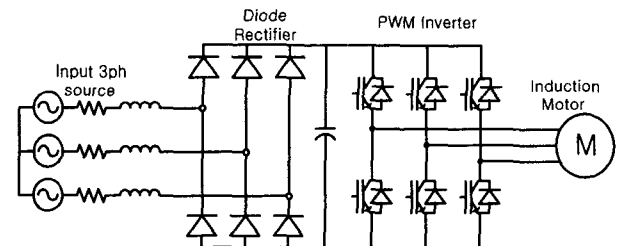


그림 7 대표적인 ASD 시스템
Fig 7 Typical ASD system

다이오드 정류부의 3상 컨버터는 홀수차 고조파성분의 전류를 흐르게 한다. 평형전원을 공급받는 정류시스템에서 발생하는 고조파는 식(9)와 같다.

$$h = kq \pm 1 \quad (9)$$

여기서 h 는 고조파 차수, k 는 정수이고 q 는 정류시스템의 펄스 수이다.

비선형 부하인 전력변환장치의 사용으로 발생하여 자체 및 연결된 시스템에 영향을 미치는 고조파로 부하의 크기에 따라 다르게 나타난다.

그림 5에서와 같이 ASD 입력전압 불평형이 클수록 입력 전류가 불평형이고, 컨버터 다이오드의 비대칭 전도로 단일 펄스에서 두개의 펄스 파형으로 변하며 컨버터 특정 고조파에 제한되지 않는 3차 및 9차 고조파와 같은 불특정 3배수 고조파가 나타난다. 이와 같은 전압불평형은 각상에 지나치게 높은 전류를 발생시켜 과부하 보호회로를 트립시킬 수 있으므로 부하를 오랫동안 중단 없이 사용하기 위해서는 전압불평형을 최소화해야 한다. 따라서 단상부하와 3상 부하가 동시에 사용하여 불평형 전압이 발생할 경우 고조파 발생이 상별로 큰 차이가 발생하므로 필터설계에 이를 반영하여야 한다.

5. 결 론

저압 수용가가 요구하는 전력품질은 전원 측 및 부하 측 전압변동의 최소화이다. 3상 전원시스템에 단상부하를 함께 연결하여 사용하면 단상부하가 클수록 상 불평형율이 커지고, 전압 불평형율이 클수록 3상 전원에 연결된 비선형 부하의 사용은 각 상마다 크기가 다른 고조파가 발생한다.

비선형 부하인 ASD의 사용은 상전류의 불평형을 일으켜 전압 불평형에 아주 민감하게 작용함을 실험 측정하여 분석하므로써 확인하였다. 전압 불평형에 대한 국제 권고 규격에 만족하여도 비선형 부하에서 발생하는 전류불평형이 과부하 보호장비를 트립시키고 중요한 프로세스 장비를 정지할 정도로 매우 높게 나타남을 실험으로 밝혔다. 또한 전압 불평형은 3상 부하에 대해 거의 나타나지 않는 3고조파가 매우 크게 발생하며, 각 상에서 고조파 성분이 다른 것은 ASD가 발생한 고조파에 대한 저감용 필터의 설계를 어렵게 할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2002년도 과학재단의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] W. Edward Reid, "Power Quality Issues-Standards & Guidelines," IEEE Trans. on IAS, pp. 625-632, May/June, 1996
 [2] 이은웅, 임수생, "전력품질에 대한 분석과 개선대책", 전기저널, No.297, pp.34-42, 2001.9
 [3] IEEE Standard 519-1992 limits
 [4] 김종겸, 이은웅, "저압시스템에서 비선형 부하의 사용에

다른 전류 고조파 해석 및 측정", 대한전기학회 논문지 (B), 제 50권, 12호, pp. 601-608, 2001.12

[5] IEEE Stanard 1159-1995
 [6] 김성덕, "전력품질의 진단과 분석기술 동향과 전망", 대한전기학회지, 제 50권, 3호, pp. 32-39, 2001.3
 [7] NEMA Std MG1-14.35(1993)
 [8] Ching-Yui Lee, "Effects of Unbalanced Voltage on the Operation Performance of a Three-Phase Induction Motor", IEEE Trans on EC, Vol.14, No.2, pp.202-208, Jun.1999
 [9] IEEE Std 1100-1999
 [10] Annette von Jouanne & Basudeb Banerjee, "Assessment of Voltage Unbalance", IEEE Trans on Power Delivery, Vol.16, No.4, pp.782-790, Oct.2001
 [11] 임수생, 이은웅, "전력품질개선의 필요성과 STATCOM", 대한전기학회지, 제48권, 4호, pp.56-61, 1999.4

저 자 소 개



김 종 겸 (金宗謙)

1961년 10월 3일생. 1991년 충남대학교 대학원 졸업. 1996.2 동대학원 졸업 공학박사 1996년~현재 국립원주대학교 전기과 부교수. 현재 당학회 편집위원
 Tel : 033-760-8423
 E-mail : jgkim@sky.wonju.ac.kr



이 은 웅 (李殷雄)

1944년 8월 14일생. 1971년 한양대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982년~83년, 1984년~85년 캐나다 McGill 대학 방문교수. 1987년~현재 당학회 평의원. 1995년 당학회 편집위원장 및 전기기연구회 간사장. 1995년~1997년 충남대 공대 학장, 산업대학원장('96~97), 1997년~2000년 당학회 부회장. 현재 충남대 전기공학과 교수
 Tel : 042-821-5652
 E-mail : ewlee@cnu.ac.kr