

## 저압인버터를 적용한 펌프모터의 고조파 분석 및 저감방안

김기태, 이은춘, 이경  
한국수자원공사

### The diagnosis and appropriate reducing method on the harmonics for the induction motor installed inverter system.

Kim Gi-Tae, Lee Eun Chun, Lee Kyong  
Kwater ( Korea Water Resources Corporation )

**Abstract** - Recently we installed inverter system in induction-motor for the energy saving. But inverter system generates harmonics, and it causes a lot of issues. malfunction of meter, damage of instrument, overheating of motor. In this study, you can see how to deal with harmonics of inverter system by diagnosis of the power quality.

#### 1. 서 론

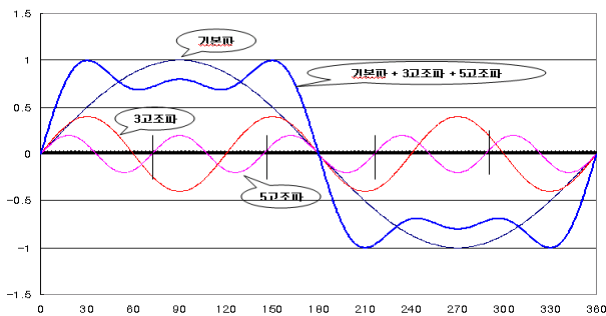
최근 전력전자기술의 발전에 따라 Power Electronics를 이용한 기술이 다양화되고 그 응용 범위가 확대되어 FA 및 OA용 무정전전원장치가 필수적으로 시설되고 있으며 또한 에너지를 절약할 위한 전동기 가변속 구동장치가 많이 채택되고 있다. 이러한 전동기 가변속 구동장치는 전력변환기인 인버터를 사용하게 되며 인버터는 교류를 직류로 변환하는 컨버터와 직류를 교류로 변환하는 인버터로 구성되어 있다. 그러므로 인버터는 고조파 전류의 발생원으로써 전원에서부터 부하단까지의 임피던스에 의한 전압강하를 일으키고 전압파형의 일그러짐 현상으로 각종 계전기의 오동작, 정밀 전자기기의 손상, 전동기의 과열 및 손상의 원인이 될 수 있다.

우리공사의 경우 전동기의 구동력을 이용한 펌핑으로 용수를 공급하기 때문에 유도전동기를 많이 사용하고 또 에너지 절감을 위해 인버터를 이용한 속도제어가 점차 증가하고 있다. 따라서 유도전동기에 적용된 인버터 설비의 전력품질을 측정·분석하여 효율적인 고조파 대책수립 방향을 제시하고자 한다.

#### 2. 고조파 발생과 억제대책

##### 2.1 고조파 정의

일반적으로 고조파(harmonics)는 60Hz 파형에 들어 있는 기본파의 정수배 주파수를 갖는 것으로, 전력관계에서 상용 주파수보다 높은 주파수를 말하며, 통상 왜형파는 그림 1과 같이 기본파와 고조파로 분해해서 생각할 수 있다.



〈그림 1〉 고조파 분해 및 합성원리

##### 2.2 고조파의 영향

콘덴서 및 직렬리액터에 고조파가 유입되면 회로의 임피던스가 감소하여 과대전류가 흐르고 그에 따라 과열, 소손 또는 진동, 소음이 발생하고 또 유도전동기에 고조파가 유입되면 전류에 의한 진동 토크가 발생하여 회전수의 주기적 변동 및 철손, 동손 등의 증가로 이상 발열현상이 발생할 수 있다.

##### 2.3 고조파 관리기준

고조파를 규제하는 관리기준은 세계 각국별로 약간씩 달리 적용하고 있으며, 현재 미국 등 선진외국에서는 국제전기전자기술자위원회에서 제정한 IEEE Std-519를 표준으로 사용하고 있는 추세이므로 이 기준을 적용하여 검토한다.

#### 2.4 고조파 억제대책

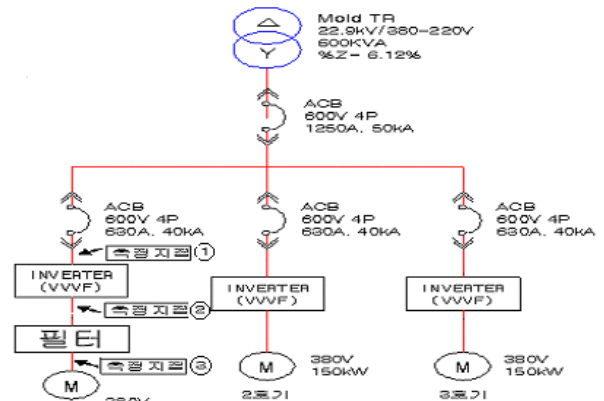
고조파 전류가 기준치를 초과하는 경우에는 억제 대책이 필요하며 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 발생원으로부터 고조파 전류를 저감시키기 위해 필터를 설치하는 방법과 발생원에서 발생한 전류를 분류시켜 유출전류를 저감시키는 방법으로 고조파 부하의 계통 분리, 콘덴서를 이용한 고조파 전류의 분류 등이 있다.

#### 3. 고조파 측정 및 분석

##### 3.1 인버터 1, 2차측 고조파 측정 및 분석

펌프 운전용 3상 380V, 150kW 유도전동기에 속도제어(유량제어)를 위해 설치한 인버터 입·출력측에서 발생하는 고조파를 측정하여 국제규격(IEEE)에서 제시하는 기준값 만족여부와 운전 중 유도전동기의 권선 온도 상승 원인을 분석한 후 적절한 대책을 제시코자 한다.

- 1) 측정대상 : 인버터가 설치된 펌프운전용 유도전동기
- 2) 측정방법 : 전력분석기에 의한 운전 중(58Hz) 고조파 측정
- 3) 측정장비 : BMI 8800, HIOKI 3196

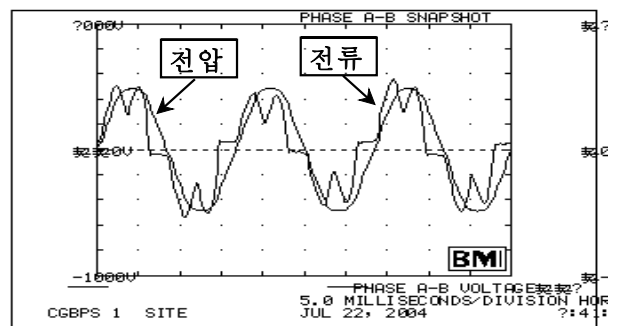


〈그림 2〉 고조파 측정 위치도

분석대상은 운전조건 및 측정값이 유사한 관계로 1호기 펌프운전용 유도전동기의 운전주파수 58Hz에서 인버터 1, 2차측의 전압, 전류 고조파의 양 및 성분을 측정·분석하였다.

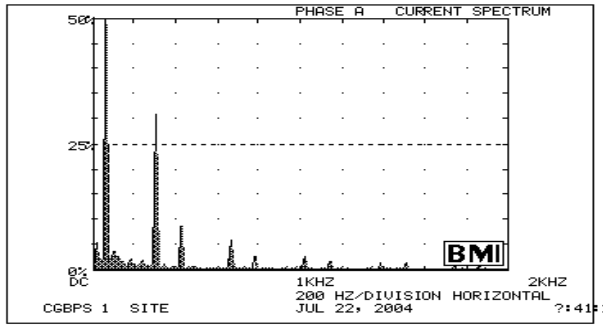
##### 3.1.1 인버터 1차측( 측정지점 ① )

인버터 1차측의 고조파 측정결과 전압 파형은 정현파와 유사하지만 전류 파형의 경우는 삼각파로 상당히 왜곡된 파형으로 측정되었다.



〈그림 3〉 인버터 1차측 전압, 전류 합성파형

이와 같은 파형은 인버터를 기준으로 전원측에서 전형적으로 나타나는 형태로 전압성분은 고조파 함유율이 적고, 전류성분에는 고조파 함유량이 많아 규제치를 초과하는 것이 일반적이다.



〈그림 4〉 인버터 1차측 고조파 전류 FFT 분석

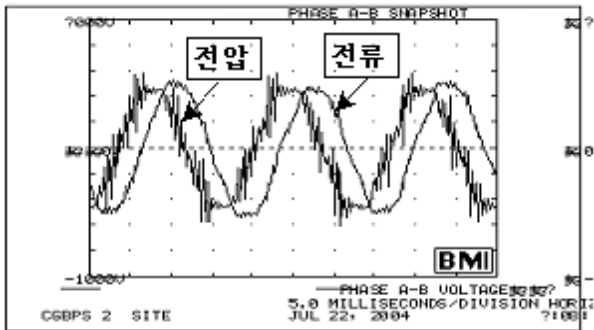
고조파 성분에 대한 FFT 분석결과 전압은 개별차수 고조파의 최대값이 2.9%이고, 총합 왜형률(THD)는 3.6%이므로 양호한 결과를 나타내었다. 그러나 전류THD는 32.8%로 높게 나타났으며, 이 중에서 제5차, 7차 및 11차가 대부분이었다. 이와 같은 저차 기수 고조파는 크기가 상당하므로 계통에 미치는 영향이 크다. 그러므로 부하에 호를 수 있는 최대 전류를 기준으로 고조파 함유량을 판단하는 전류 총수요 왜형률(TDD)로 분석하여 국제기준의 만족여부를 판단하였다.

〈표 1〉 고조파 성분분석 결과

구분	국제기준(IEEE)	현장측정값	판정
고조파 전압(THD)	5% 이하	최대 3.6%	적합
고조파 전류(TDD)	12%이하	25.8%	불량

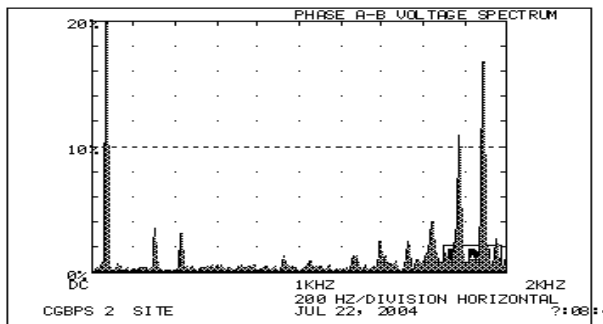
3.1.2 인버터 2차측 (측정지점 ②)

인버터 2차측의 고조파 측정결과 전압 파형은 Impulse 형태의 고조파 때문에 파형이 많이 일그러져 있으며 전류 파형은 정현파와 유사하게 측정되었다.



〈그림 5〉 인버터 2차측 전압, 전류 합성파형

이와 같은 파형은 PWM(펄스폭 변조) 방식의 인버터 출력측에서 발생하는 고유한 현상으로 전압을 인위적으로 가공할 때 발생하는 Impulse 및 Notching Voltage 형태의 고조파 때문이다. 그러므로 전압성분은 고조파 함유율이 많고 전류성분에는 고조파 함유량이 적게 측정되는 것이 일반적이다.



〈그림 6〉 인버터 2차측 고조파 전압 FFT 분석

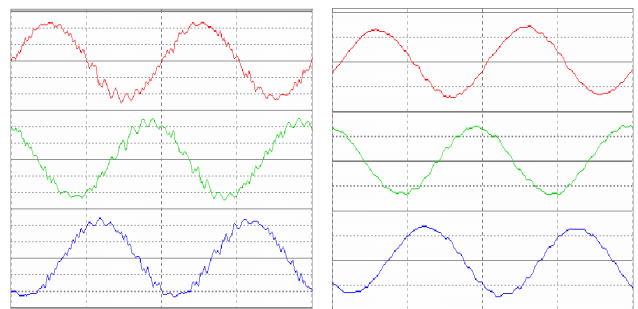
고조파 성분에 대한 FFT 분석결과 전압 THD가 15.2%로 규제값을 초과하고 있으며 약 1.8~2.0 KHZ 부근의 고차 기수 고조파가 많이 발생하고 있다. 전류성분에 대한 고조파는 THD 기준으로 7.8%를 유지하고 있으므로 비교적 안정적이라 판정할 수 있다.

3.2 고조파 저감대책

PWM 전압형 인버터에 발생하는 Impulse 및 Notching Voltage 형태의 전압성분 고조파는 고차 주파수이기 때문에 계통 및 부하에 발열을 수반하여 절연체의 열화로 인한 내용연수 급감은 물론, 절연과피 사고를 일으키며 제어계통에 외란(外亂)의 요소로도 작용할 수 있다. 실제로 운전 중인 전동기의 권선온도가 비정상적으로 상승하는 원인으로 판단하고 인버터 2차측에 정현파 필터를 설치하여 유도전동기에 공급되는 전원의 품질을 개선함으로써 내용연수 연장효과를 나타낼 수 있다.

3.3 인버터 2차측 필터 설치 후 효과 분석( 측정지점 ③ )

인버터 2차측에 Impulse 형태의 고조파를 저감하기 위해 L-C 정현파 필터를 설치하였으며 효과를 분석하기 위해 전동기에 공급되는 전원 품질을 측정·분석하였다.



〈그림 7〉 필터설치 후 전압, 전류 파형 분석

필터 2차측의 고조파 측정결과 필터 설치전의 Impulse 형태의 파형이 상당히 개선된 것으로 측정되었으며 고조파 성분에 대한 FFT 분석결과도 전압 THD는 4.1% 이고, 전류 THD는 1.9%로 측정되어 두 성분 모두 상당히 개선된 것으로 분석되었다. 또 역률도 67%에서 73%로 개선된 효과를 나타내었다.

DMM [No.1 12/22 10:46:59.998 Ext (Stop)]

POWER	VOLTAGE	CURRENT
P1 32.11kW	U1 320.91 V	I1 238.58 A
P2 32.50kW	U2 320.45 V	I2 241.17 A
P3 32.72kW	U3 320.28 V	I3 241.34 A
Psum 0.0973Mw	THD-U1 4.10 %	THD-I1 1.96 %
S1 44.11kVA	THD-U2 3.88 %	THD-I2 1.89 %
S2 44.66kVA	THD-U3 4.33 %	THD-I3 1.90 %
S3 44.68kVA	Upk+1 0.5177kV	Ipk+1 0.3682kA
Ssum 0.1335MVA	Upk+2 0.5184kV	Ipk+2 0.3766kA
Q1 30.25kvar	Upk+3 0.5071kV	Ipk+3 0.3821kA
Q2 30.64kvar	Upk-1 -0.5158kV	Ipk-1 -0.3684kA
Q3 30.42kvar	Upk-2 -0.4915kV	Ipk-2 -0.3717kA
Qsum 0.0913Mvar	Upk-3 -0.4872kV	Ipk-3 -0.3720kA
PF1 0.7278	Uave 320.55 V	KF1 1.07
PF2 0.7276	Iave 240.10 A	KF2 1.05
PF3 0.7324	Iunb 0.10 %	KF3 1.06
PFsum 0.7293	Iave 240.37 A	Iunb 0.64 %

〈그림 8〉 필터설치 후 전력 분석

4. 결론

펌프구동용 유도전동기를 속도제어하기 위해 인버터를 이용하면 속도 감소분 만큼 에너지가 절감되므로(소비전력은 속도의 3제곱에 비례) 인버터의 적용이 점차 확대되어 지고 있다. 그러나 PWM 변환방식의 인버터에서 발생하는 출력전압은 Impulse 및 Notching Voltage 형태의 고차 주파수의 고조파가 발생하여 유도전동기 권선온도 상승의 원인을 제공할 수 있다. 그러므로 향후 유도전동기에 인버터의 적용시 1차측(전원측)의 전류고조파를 제거하기 위한 대책과 함께 전동기에 투입되는 전원의 품질을 개선하기 위해 2차측(부하측)의 전압고조파에 대한 대책으로 정현파 필터의 설치도 고려되어야 한다.

[참고문헌]

- [1] 한국수자원공사 이은준, “고조파 및 Surge로부터 수도전기설비 보호방안 (2차년도), 2003.12
- [2] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System, IEEE std-519, 1992.