

저압 인버터 시스템의 고조파 분석 및 저감 방안 연구

신강욱*, 홍성택, 이동근, 이은춘
한국수자원공사

The Analysis of Harmonics at a Inverter System of Low Voltage and the Methods for the Reduction

Gang Wook Shin, Sung Taek Hong, Dong Keun Lee, Eun-Chun Lee
Korea Water Resources Corporation

Abstract - Recently, Many water treatment facilities are operated by automatic control or by remote control. These high technology control systems require more stable power supply than before. Badly most automatic control systems adopted in water treatment facilities are non-linear load which generates electrical harmonics inevitably.

This study is intended to measure and analyze the electrical harmonics occurred at the chemicals control device which is inverter application circuit, and to show the Method for reduction.

1. 서 론

수도사업장의 가압 시스템이 현대화 및 무인 자동화 추세로 전환함에 따라서 보다 고품질의 전원확보가 시급한 문제로 대두되고 있다.

그러나 이러한 공정에 이용되는 자동화 설비는 대부분 전력전자소자를 이용한 비선형 부하가 대부분이므로 여기에서 필연적으로 발생하는 고조파가 최근에 큰 문제점으로 대두되고 있다. 이런 고조파들은 기기의 오작동의 원인이 되며 또한 기기의 절연에 문제가 되고 있다.

본 연구에서는 C가압장에서 발생하는 고조파를 측정, 분석하고 고조파가 다량으로 발생하는 저압 인버터 회로에 고조파 저감 방안을 제시하고자 한다^[1].

2. 고조파 발생원인 및 영향

2.1 고조파 발생원인

최근 전력 제어기술의 발전에 따라 전력전자 소자를 이용한 기술이 다양화되고, 그 응용 범위가 확대되어 FA 및 OA용 설비에 비선형부하 점유율이 높아지고 있다. 비선형 부하는 전압, 전류를 임의적으로 가공하여 제어에 필요한 목표값을 얻는 기기로서, 무정전 전원장치(UPS) 및 가변속제어장치(Inverter) 등이 이에 해당되며, 이러한 비선형 부하는 고조파를 많이 발생하고 있다^[2].

2.2 설비에 미치는 영향

비선형 부하에서 발생된 고조파 전압, 전류는 전원으로 부터 부하단까지의 임피던스에 의하여 전압강하를 일으키고, 이 전압강하에 따라 비록 전원전압 파형이 정현파라 할지라도 부하단의 전압 파형은 왜형파가 된다. 이러한 왜형파는 보호계전기 오동작, 정밀 전자기기의 동작 불량, 기기 손상 및 과열의 원인이 될 수 있다.

또한 고조파 전류는 선로의 임피던스 특성에 따라 직, 병렬 공진을 일으켜 전류의 확대현상과 전압의 급증으로 해당기기의 수명을 극감시키고, 공진의 정도가 심할 경우에는 치명적인 사고로 이어질 수도 있다^[3].

3. 고조파 측정 및 분석

3.1 측정장비 및 방법

C가압장 펌프 운전용 3상 380V, 150kW의 인버터 입·출력측에서 발생하는 고조파의 양 및 전력품질을 측정하였다. 그림 3.1은 측정위치를 나타낸 단선결선도이다.

- 측정대상 : C가압장 인버터(150kW) 1, 2차측 (3상 380V)
- 측정항목 : 고조파 외 6항목
- 측정장비 : BMI 8800, HIOKI 3196
- 측정방법 : 운전중(58Hz) 측정

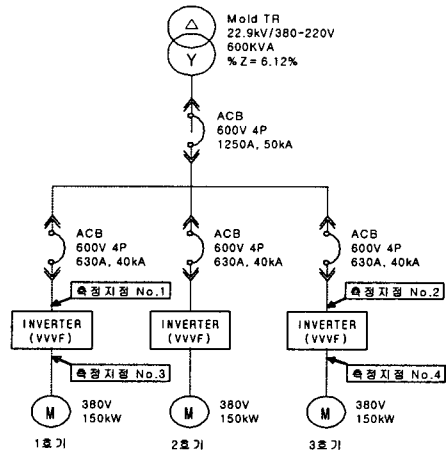


그림 3.1 가압장 고조파 측정위치도

3.2 측정결과 및 분석

고조파 측정값의 신뢰성 검증을 위하여 2대의 장비를 이용하여 동시에 측정하였고, Full Load 운전상태에서 1, 3호기를 측정하였다. 분석대상은 측정값이 상호 비슷한 관계로 3호기를 대상으로 하였다.

3.2.1 인버터 1차측 전압 측정 및 고조파 분석

인버터 1차측의 고조파 측정결과는 그림 3.2와 같으며, 개별차수 고조파의 최대값이 2.9%, 총합 THD는 3.6%으로 나타났다.

국제기준인 IEEE Std-519를 적용할 때 69kV이하를 적용하면 개별차수 전압고조파는 3%이하, 총합 THD 기준으로는 5%이하를 유지하면 된다.

따라서 인버터 1차측의 전압성분 고조파는 표 3.1과 같이 규제값 이하로 양호한 상태이다.

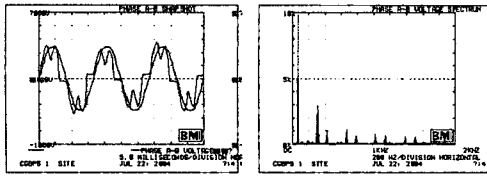


그림 3.2 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

표 3.1 고조파 함유율 분석결과

| 구분 | 계통전압 | 개별고조파 왜형률(%) | 총합왜형률 THD(%) | 판정 |
|-----|---------|--------------|--------------|----|
| 기준값 | 69 kV이하 | 3.0% | 5.0% | |
| 측정값 | 380V | 2.9%이하 | 3.6%이하 | 양호 |

3.2.2 인버터 1차측 전류 측정 및 고조파 분석

인버터 1차측 고조파 전류 측정결과가 그림 3.3과 같으며, 총합왜형률(THD)이 32.8%로 높게 나타났으며, 이 중에서 제5차, 7차 및 11차가 주종을 이루고 있다. 이와 같은 저차 기수고조파는 크기가 상당하므로 계통에 미치는 영향이 크다.

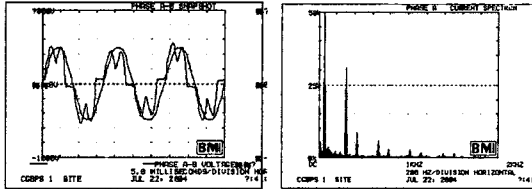


그림 3.3 전류 파형 및 고조파 스펙트럼 분석

3.2.3 인버터 2차측 전압 측정 및 고조파 분석

인버터 2차측의 측정결과가 그림 3.4와 같으며, 전압성분에 포함된 고조파 성분을 분석한 결과 전압THD가 5.4%로 규제값을 초과하고 있다. 특징적인 것은 약 1.8~2.0 KHz 부근에서 고조파가 많이 발생하며, 이와 같은 고차 주파수는 계통 및 부하에 발열을 수반할 뿐만 아니라 제어 계통에 외란(外亂)의 요소로도 작용할 수 있다.

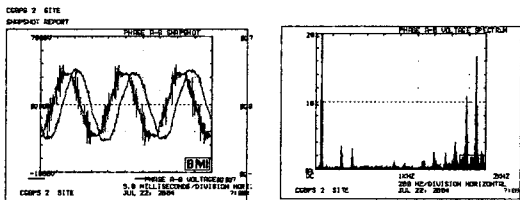


그림 3.4 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

3.2.4 인버터 2차측 전류 측정 및 고조파 분석

인버터 2차측의 측정결과가 그림 3.5와 같으며, 전류성분에 대한 고조파 분석은 의미를 적게 두는 것이 일반적이다. 이와 같은 이유는 전압형 인버터를 사용하기 때문에 전압의 가공과정에서 미세한 파형 왜곡이 있을 뿐이다. 왜형률도 THD기준으로 4.3%를 유지하므로 비교적 안정적이라 판정할 수 있다.

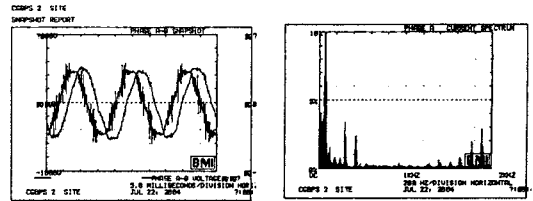


그림 3.5 전류 파형 및 고조파 스펙트럼 분석

3.2.5 측정결과 종합분석

전류성분에 포함된 고조파를 분석할 때 총합왜형률(THD)을 사용하기보다는 총수요왜형률(TDD)을 사용한다. 왜냐하면, 전류의 경우 부하의 운전현황에 따라 무부하에서 최대부하까지 변동폭이 크므로 측정당시의 전류값에 따라 THD값은 수시로 변화한다.

따라서, 부하에 흐를 수 있는 최대수요전류를 기준으로 고조파 함유량을 판단하는 TDD를 사용하여야 정확한 분석을 할 수 있다. TDD는 IEEE-std-519에 의하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$TDD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 \dots I_n^2}}{I_L} \times 100\%$$

$$= \frac{I_n}{I_L} \times 100\%$$

$$= \frac{\sqrt{I_1^2 - I_1^2}}{I_L} \times 100\%$$

여기서, I_n : 고조파 합성전류

I_1 : 부하의 선전류(기본파전류+고조파합성전류)

I_L : 기본파전류

I_L : 부하의 최대평균전류

표 3.2 인버터 1차측 고조파전류(TDD) 분석결과

| 구분 | 부하최대전류 (I_L) | 측정장비(BMI) | | | | TDD 규제값 (%) | 판정 |
|------|------------------|---------------|------------------|------------------|-----------------------|-------------|-------|
| | | 선전류 (I_1) | 기본파 전류 (I_L) | 고조파 전류 (I_n) | L-THD (I_n/I_1) % | | |
| 58Hz | 275 | 235 | 224 | 71 | 32.8 | 25.8 | 12 초과 |

측정기 2대를 이용하여 계측된 값을 가지고 전류TDD를 계산한 결과 그 값의 차이가 아주 미소하게 나타났다. 따라서 현장 계측값의 신뢰도는 상당히 높은 것으로 평가되며, 이때 전류TDD 값은 국제규격에서 제시하는 12%를 약 2배 이상 초과하므로 고조파 저감대책 수립이 시급한 실정임을 알 수 있다^{[4][5]}.

4. 고조파 저감방안 제시

4.1 저감장치 선정

C가압장의 경우 인버터 1차측의 고조파 저감과 2차측의 정현파 구현을 위하여 1개의 전동기 기동회로에 2대의 필터가 필요하다. 따라서 적용 가능한 각종의 필터를 상호 비교하여 최적의 방안을 제시하면 표 4.1과 같다.

표 4.1은 필터의 일반적 특징을 비교한 것으로, 인버터 1차측에는 Hybrid 필터가 적용 가능하고, 인버터 2차측에는 일반적으로 많이 사용하는 정현파 필터를 적용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

표 4.1 고조파 저감장치 비교표

| 구분 | 수동필터 (Passive Filter) | | 능동필터 (Active Filter) | 비고 |
|-----|-------------------------------|--|---|---------|
| | 정현파필터(L-C) | Hybrid필터 | | |
| 원리 | L-C회로를 이용한 맥동, 리플제거 | 공진회로를 이용한 임피던스 조절 | 검출에 의한 역위상 제공으로 고조파 상쇄 저감 | |
| 용도 | 인버터 출력측 파형개선 (PWM인버터출력측) | 低次다중 고조파 저감용 (중규모 전용회로) | 부하변동에 의한 고조파 발생량이 불균일한 곳에 적용 (대규모 변동부하) | |
| 효과 | 중간 | 중간 | 높음 | |
| 시공성 | 보통 | 보통 | 난해 | |
| 가격 | 300% | 300% | 1000%이상 | 단일필터 기준 |
| 특징 | ·인버터 출력용 정현파 구현율 높다 ·균일부하용 | ·다중회로용 저차고조파 5개 이내 저감 ·저감효율이 높다 ·변동부하용 | ·다중회로용 50차이하 모두저감 ·저감효율이 높다 ·적용범위가 넓다 ·가격이 비싸다 | |
| 적용 | 인버터 2차측 | 인버터 1차측 | | |

4.2 고조파 저감장치 설치 방법

고조파 필터를 인버터 1, 2차측에 설치하는 방법은 그림 4.1과 같으며, 이때 필터는 현장여건상 차립형 판별내에 수납하여 별도로 설치하여야 한다. 배선방법은 기존의 기동반 ACB 2차측에서 CV케이블로 인출하여 필터에 연결하는 방법을 취하고, 필터 내부에는 By-Pass기능을 부가하여 필터 이상시에도 전동기를 가동할 수 있도록 하여야 한다.

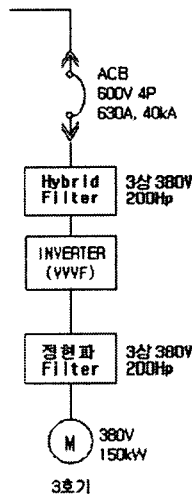


그림 4.1 고조파 필터 설치 위치도

4.3 기동방법 개선

4.3.1 운영상의 문제점

인버터를 채용한 전동기 운전방법은 유량조절 면에서는 유리하지만, 그 외 고조파 발생, 발열 및 제어계통의 오동작 등 전력계통에 상당한 악영향을 미친다. 따라서 가급적이면 일반기동법을 채용하여 정속 모타로 운전하는 것이 바람직하다.

C가압장의 경우, 저압전동기 3대가 모두 인버터 기동 방식으로 되어 있으나, 현재 운전대수는 주로 1대를 가

동하고 있다. 이와 같은 사업장에 유량변동 폭이 크지 않다면 1대 정도만 인버터 운전을 하고, 나머지 2대는 정속 모타로 운전방식을 변경하는 것이 설비 운영면에서 효과적이라고 판단된다. 여기서 변속 모타 보유 수량은 향후 물량공급 계획을 면밀히 검토해서 결정해야 하겠지만, 현재의 운영방식에서 크게 벗어나지 않는다면 2대 모두 정속 모타로 바꾸어도 무방할 것으로 판단된다.

4.3.2 개선방향

정속모타의 기동방법은 직입기동, Y-Δ기동 및 리액터 기동 등이 있으나, 150kW의 대용량 전동기에서는 리액터 기동을 주로 채용하므로 본 사업장에도 리액터 기동을 적용하는 것이 바람직하다.

본 방법으로 개조할 경우 기존의 판별을 재사용 할 수 있고, 인버터를 철거하면 리액터 및 차단기 1대를 추가할 공간은 충분할 것이다. 리액터 기동으로 개조할 때는 반드시 역률개선용 콘덴서를 설치하여야 하므로 이를 고려하여 기기배치를 하여야 한다.

개선후의 전동기 기동회로 단선결선도를 나타내면 그림 4.2와 같다.

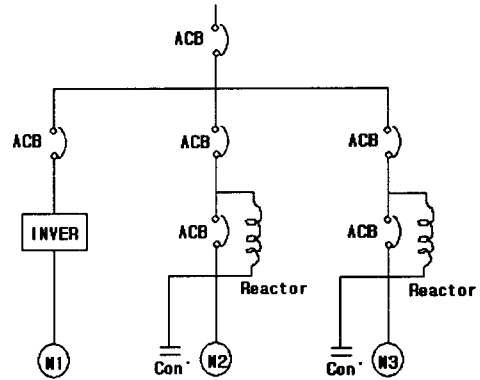


그림 4.2 기동방식 변경후 단선결선도

5. 결 론

- (1) C가압장 인버터 1차측의 고조파를 측정하여 국제기준(IEEE)과 비교한 결과, 고조파 전압은 없는 상태이나, 고조파 전류는 기준값을 크게 상회하고 있어, 고조파 필터 설치가 불가피한 실정이다. 이와 같이 인버터 1, 2차측의 파형 개선을 위하여 적용할 수 있는 방법은 여러 가지가 있으나, 인버터 1차측에는 Hybrid Filter 설치, 인버터 2차측에는 정현파 Filter 설치를 제시하였다.^[6]
- (2) 인버터를 채용한 펌프모타는 유량조절 면에서는 유리하지만, 그 외 고조파 발생, 발열 및 제어계통의 오동작 등 전력계통에 상당한 악영향을 미친다. 따라서 가급적이면 일반기동법을 채용하여 1대 정도만 인버터 운전을 하고, 나머지 2대는 정속모타로 운전방식을 변경하는 것이 설비 운영면에서 바람직하다.

[참 고 문 헌]

[1] 文庚贊, "노이즈 종합대책", 성안당, 1996.
 [2] 한국전기연구원, "EMI 기초연구", 1987.
 [3] 정용기, "전기설비 핵심 기초기술", 도서출판 외제, 1996.
 [4] 최홍규, "전력사용시설물 설비 및 설계", 성안당, 1999.
 [5] 유상봉, "고조파 및 noise 방지대책", 2001.
 [6] IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System, IEEE std-519, 1992.