

고조파 저감장치 현장적용 효과 분석

이은춘, *변일환, *신강욱, *홍성택, **이은웅
* : 한국수자원공사, ** : 충남대학교

Analysis on the effect of harmonics filter applied to water treatment facilities

Eun-Chun Lee, Il-Hwan Byun, Gang-Wook Shin, Sung-Taek Hong, Eun-Woong Lee
Korea Water Resources Corporation, ChungNam National University

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 effect of the harmonics filter.

1. 서 론

수도사업장의 정수처리 공정이 현대화 및 무인 자동화 추세로 전환함에 따라서 보다 고품질의 전원확보가 시급한 문제로 대두되고 있다. 특히 고도의 정수를 생산하기 위하여 정수약품을 자동투입하는 계통에는 더욱 안정적인 전원이 요구된다.

그러나 이러한 정수처리 공정에 이용되는 자동화 설비는 대부분 전력전자소자를 이용한 비선형 부하가 대부분이므로 여기에서 필연적으로 발생하는 고조파가 최근에 큰 문제점으로 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 정수장 약품투입계통에서 발생하는 고조파를 측정, 분석하고 고조파가 다량으로 발생하는 인버터 적용회로에 저감장치를 설치하여 그 효과를 분석코자한다.

2. 고조파 발생원인 및 설비에 미치는 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 해당된다. 이러한 비선형 부하는 고조파를 많이 발생하고 있으며, 주요 발생원은 다음과 같다.

- (1) 전력변환장치(Inverter, Converter, CVCF 등)
- (2) 변압기 여자돌입전류
- (3) 용접기(아크로, 전기로)
- (4) 회전기
- (5) 전자식(電子式) 형광등
- (6) 과도현상에 의한 것

등이 있으나 대부분의 것은 순간적이고 그 발생량이 적은 반면에 전력변환장치에서 발생하는 것은 지속적이고 그 양이 많기 때문에 계통에 미치는 영향이 크다

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 당해기기의 수명을 극감시키고, 공진의 정도가 심할 경우에는 치명적인 사고로 이어질 수도 있다.

3. 고조파 측정, 분석

3.1 측정대상 선정

수도사업장을 대상으로 전력계통별 고조파를 측정, 분석한 결과 22.9 kV 수전계통 및 고압모선(6.6 kV, 3.3 kV)은 고조파 발생량이 국제규제값(IEEE) 이하로 비교적 양호한 상태를 유지하고 있었다. 그러나 인버터를 많이 채용하는 저압계통, 특히 약품투입실의 동력계통은 고조파 발생량이 많아 국제규제값을 상회하고 있었다.

따라서, 정수약품 혼화설비에 인버터를 채용한 고산정수장을 대상으로 고조파 발생량을 측정, 분석하고, 그 결과에 따라 적정 저감장치를 설치하여 효과를 분석코자 한다. 고산정수장 약품투입동 주요 전력설비 현황은 표 3.1과 같다.

표 3.1 고산정수장 전력계통 현황

구 분		용 량(수량)
수전 설비	수전용량	3상 4선 22.9kV, 9000kVA
	변압방식	2단강압(22.9kV⇒6.6kV⇒380V)
약품 투입 동	인입전원	6.6kV/380V-220V
	변압기용량	400kVA
	평균부하	100kW
	혼화기	A-Line 15Hp×8대 B-Line 15Hp×8대(Inverter 방식)
	용접기	1단 5Hp×16대, 2단 3Hp×16대 3단 3Hp×16대(모두 Inverter 방식)
	투입설비	1식
밸브 및 부대설비		1식

3.2 측정장비 및 방법

고산정수장 전력계통에서 발생하는 고조파량을 알아보기 위하여 수전측부터 부하 말단까지 4개소 측정하였으며, 측정위치를 나타낸 단선결선도는 그림 3.1과 같다.

- 측정대상 : 약품투입동 저압동력계통(380 V)
- 측정항목 : 고조파 외 6항목
- 측정장비 : BMI 8800 (Kowaco 보유)
HIOKI 3196 (PQ-Tech 보유)
- 측정방법 : 정수, 약품투입설비 정상 운전중 측정
- 측정위치 : 22.9kV수전계통부터 저압동력까지

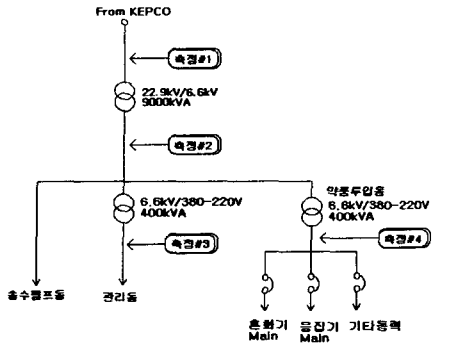


그림 3.1 정수장 전력계통 및 고조파 측정위치도

표 3.4 고조파 함유율 분석결과

구분	고조파 함유율(%)				비고
	전압		전류		
THD (총합왜형율)	A-N	1.2	A상	25.0	IEEE-519 V-THD 5%이하
	B-N	1.2	B상	23.3	
	C-N	1.9	C상	18.7	

(4) 약품투입동(380V)전력계통(측정#4)

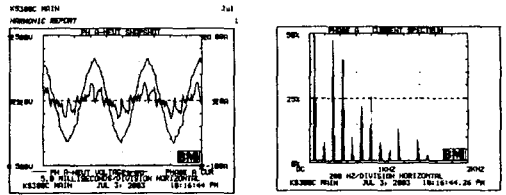


그림 3.5 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

3.3 측정결과

(1) 22.9kV수전계통(측정#1)

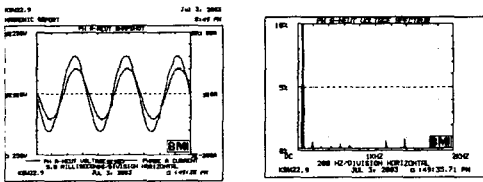


그림 3.2 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

표 3.2 고조파 함유율 분석결과

구분	고조파 함유율(%)				비고
	전압		전류		
THD (총합왜형율)	A-N	1.2	A상	2.6	IEEE-519 V-THD 5%이하
	B-N	1.2	B상	2.4	
	C-N	1.3	C상	2.8	

표 3.5 고조파 함유율 분석결과

구분	고조파 함유율(%)				비고
	전압		전류		
THD (총합왜형율)	A-N	4.4	A상	74.8	IEEE-519 V-THD 5%이하
	B-N	4.7	B상	66.9	
	C-N	4.2	C상	37.5	

(5) 측정결과 종합분석

고조파 함유율을 나타내는 총합왜형율(THD: Total Harmonic Distortion)은 기본파 대비 고조파 성분의 비율로 식(1)과 같이 나타내며, 종합분석결과는 표 3.6과 같다.

$$\text{총합왜형율(THD)} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\% \dots\dots(1)$$

여기서, V_n : 제 n차 고조파 전압의 실효치
 V_1 : 기본파 전압의 실효치

(2) 6.6kV 고압동력계통(측정#2)

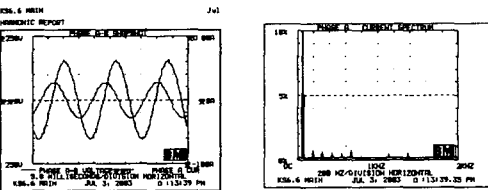


그림 3.3 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

표 3.3 고조파 함유율 분석결과

구분	고조파 함유율(%)				비고
	전압		전류		
THD (총합왜형율)	A-B	2.0	A상	1.2	IEEE-519 V-THD 5%이하
	B-C	1.8	B상	1.4	
	C-A	2.1	C상	1.2	

표 3.6 고조파 측정값 종합분석 결과

측정위치	총합왜형율THD(%)		규제값 (IEEE)
	전압	전류	
22.9kV	1.2	2.6	V-THD 5%이하
6.6kV	2.0	1.2	
380V	1.2	25.0	
약품동	4.4	74.8	

본 사업장의 경우 6.6 kV 이상에서는 규제값이하를 유지하지만, 저압계통에서는 전류THD가 규제값을 초과하고 있었다. 따라서 고조파 저감대책이 요구되었다.

4. 고조파 저감장치 현장적용 평가

4.1 운영현황 정밀조사

고조파 저감장치 설치를 위한 약품투입실 부하운전 현황을 정밀조사 하였으며, 인버터를 채용한 혼화기 주(Main)회로를 조사대상으로 하였다.

표 4.1 혼화기 주회로 전원품질측정결과

측정 항목	단위	측정값	비고
선전압	R-S V	376	양호
선전류	R A	115	불평형
유효 전력	kW	52.8	
무효 전력	kVAR	-52.9	
역률	%	-0.7	
전압 왜형률(V-THD)	R-S %	5.44	부적합
전류 왜형률(I-THD)	R %	81.8	부적합

(3) 380V 저압동력계통(측정#3)

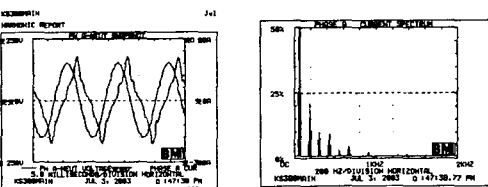


그림 3.4 전압파형 및 고조파 스펙트럼 분석

정밀조사결과 전압, 전류에 고조파가 많이 함유하고 있었으며, 특히 전류형 인버터를 사용하기 때문에 전류 성분에는 다량의 고조파가 포함되어 있음을 알 수 있었다.

4.2 고조파 저감장치 설치

(1) 고조파 저감장치 선정

약품투입동 전용변압기 2차전류의 대부분이 혼화기 부하전류에 해당되는 경우 혼화기 주(Main)회로에 고조파 저감장치를 설치하는 것이 바람직하다. 따라서 적용 가능한 각종 저감장치를 각 종류별로 비교하여 최적의 방안을 제시하면 표 4.2와 같다.

표 4.2 고조파 저감장치 비교표

구분	수동필터 (Passive Filter)		능동필터 (Active Filter)
	L-C필터	Hybrid필터	
원리	공진회로를 이용한 임피던스 조절	L-C필터의 일종	검출에 의한 역위상 제공으로 고조파상쇄
용도	低次 단일고조파 저감용(소규모회로)	低次 다중고조파 저감용(중규모회로)	부하변동이 심한 곳(대규모부하)
가격	100 %	200 %	1000 %이상
특징	· 단일회로용 · 저차고조파 · 저감효율이 낮다 · 균일부하용	· 다중회로용 · 저차고조파 · 10개정도 저감 · 저감효율이 좋다 · 변동부하용	· 50차까지 저감 · 저감효율이 높다 · 적용범위가 넓다 · 가격이 고가
적용		◎	

혼화기의 고조파 측정 결과를 보면 단일고조파가 아니라 3고조파부터 17고조파까지 다양하게 발생된다. 따라서 가격은 약간 비싸지만 인버터 회로에서 다중고조파 저감효율이 비교적 양호한 복합형 필터(Hybrid Filter)를 적용하였다.

(2) 고조파 저감장치 설치

약품투입동에 고조파 필터를 설치하는 방법은 기존 판넬내에 설치공간이 없으므로 별도의 외함을 제작설치하고 필터의 입·출력부 연결방법은 전용의 케이블을 사용하였다. 약품투입동 단선결선도를 중심으로 고조파필터 설치위치를 나타내면 그림 4.1과 같다.

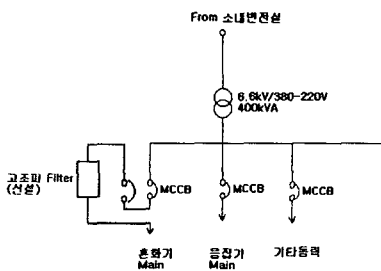


그림 4.1 고조파 필터 설치위치도

복합형필터(Hybrid Filter)의 사양은 다음과 같다.

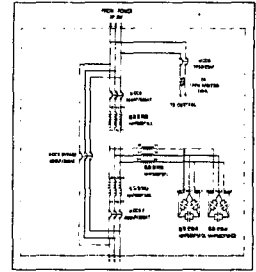
- 정 격 용 량 : 3상 380 V, 60 kW
- 고조파규제값 : TDD 8%이하(IEEE std-519)
- 설 치 방 법 : 옥내 판넬형(자립형)

여기서 전류성분에 포함된 고조파 판정기준은 전류총 수요 왜형률(TDD; Total Demand Distortion)을 사용하며, 식(2)와 같이 나타낸다.

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

여기서, I_n : 고조파 합성전류
 I_L : 부하의 최대평균전류(12개월 평균)

고조파 저감장치 설치장면 및 필터내부회로는 그림 4.2와 같다.



(a) 고조파 저감장치

(b) 내부회로도

그림 4.2 고조파 저감장치 및 내부회로도

4.3 설치효과 분석

(1) 전류파형 개선효과(TDD 81.8% ⇒ 3.3%)

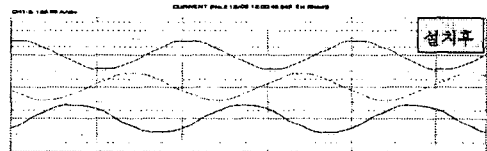
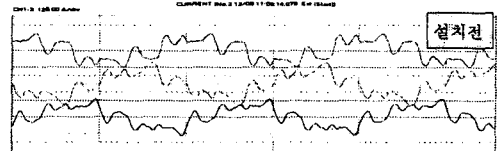


그림 4.3 고조파 저감장치 설치전, 후 파형비교

(2) 선전류 저감에 따른 전력소비량 절감

고조파 전류감소에 따른 선전류가 12.7A 저감되어 전력소비량으로 환산할 때 절감율이 7.7%로 나타났다.

(3) 제어계통 신뢰성 향상

고조파 전류 감소로 고조파 유도장해 경감에 따른 제어계통의 신뢰성이 향상되었다.

5. 결 론

- (1) 수도사업장의 혼화기 및 증기기 계통에 채용된 전동기 속도조절용 인버터회로를 대상으로 고조파를 측정된 결과 국제규격에서 정하는 규제값을 초과하고 있어 고조파 저감대책이 요구되었다.
- (2) 고조파가 다양으로 발생하는 부하를 대상으로 저감장치를 설계, 제작하여 계통에 접속한 결과 고조파 저감효과가 뚜렷하게 나타났으며, 국제규격에서 제시하는 규제값을 만족하였다.
- (3) 고조파성분 저감에 따른 선전류 감소로 에너지 절감효과뿐만 아니라 고조파 문제로 야기 될 수 있는 제어계통의 오동작, 소음, 진동 및 발열현상 등이 줄어들 것으로 판단된다.

[참 고 문 헌]

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